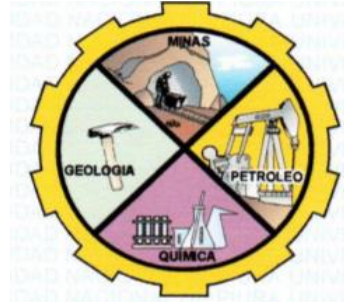


UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA
DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR
PUNTA ARENA, DISTRITO DE CASTILLA, PROVINCIA Y
DEPARTAMENTO DE PIURA - PERÚ”**

Presentada por:

ISRRAEL SARANGO OLAYA.

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEOLOGO**

Línea de investigación / Sub Línea de investigación:

Aprovechamiento y Gestión Sostenible del Ambiente y los recursos Naturales. /

Aprovechamiento y Conservación de los Recursos Naturales.

PIURA, PERU

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR PUNTA ARENA, DISTRITO DE CASTILLA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE PIURA - PERÚ”


Bach. SARANGO OLAYA ISRRAEL

Ejecutor:


Ing. MIGUEL MENA MAZA

Asesor:

Línea de investigación / Sub Línea de investigación:

Aprovechamiento y Gestión Sostenible del Ambiente y los recursos Naturales. /

Aprovechamiento y Conservación de los Recursos Naturales.

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo, **Isrrael Sarango Olaya** identificado con DNI N° 47017667, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, de la Facultad de Ingeniería de Minas y domiciliado en la Calle Tahuantinsuyo 109, del Distrito de Ignacio Escudero, Provincia de Sullana, Departamento de Piura, Celular: 934978861, Email: isrraelsarango12@gmail.com.

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley de Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección de Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, 05 de Diciembre del 2019



.....
Isrrael Sarango Olaya
DNI N° 47017667

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento de Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA
DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR
PUNTA ARENA, DISTRITO DE CASTILLA, PROVINCIA Y
DEPARTAMENTO DE PIURA - PERÚ”**

Dr. Ing° Renato Umeres Cáceres
Presidente del Jurado Calificador

Ing° José C. Cobena Urbina M.Sc.
Secretario del Jurado Calificador

Ing° Tulio A. Berrospi Cajavilca M.Sc.
Vocal del Jurado Calificador

Línea de investigación / Sub Línea de investigación:

**Aprovechamiento y Gestión Sostenible del Ambiente y los recursos Naturales. /
Aprovechamiento y Conservación de los Recursos Naturales.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

DECANATO

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 1083-CF-2019, de fecha cuatro de noviembre de dos mil diecinueve, que suscriben, reunidos el día jueves siete de noviembre de dos mil diecinueve, a horas 11:00 a.m., en la Sala de Conferencias - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada "**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR PUNTA ARENA, DISTRITO DE CASTILLA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE PIURA - PERÚ**", conducida por el señor Bachiller en Ingeniería Geológica **SARANGO OLAYA ISRRAEL**, la misma que cuenta con el asesoramiento del Ing° **Miguel Mena Maza**. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, lo declaran:

DESAPROBADO	APROBADO			
	Bueno	Muy Bueno	Sobresaliente	Excelente
	-----	-----	-----	-----

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 07 de noviembre de 2019.


DR. ING° RENATO UMERES CÁ CERES
Presidente del jurado calificador


ING° JOSÉ C. COBENA URBINA M.Sc.
Secretario del jurado calificador


ING° TULIO A. BERROSPI CAJAVILCA M. Sc.
Vocal del Jurado Calificador.

YMN.

DEDICATORIA

Esta Tesis está dedicada al público en general, como información antecedente de para la ejecución de Proyectos relacionados al tema de investigación y como información base para la investigación hidrogeológica en los sectores aledaños a la zona investigada. Siendo mi más grande satisfacción poder aportar mis conocimientos como Profesional de Ingeniería Geológica y fomentar el aprovechamiento responsable de los recursos Naturales.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida para demostrar que con fe, perseverancia y esfuerzo todo es posible.

A mi asesor y amigo, por compartir sus conocimientos y experiencias y todo el apoyo brindado en este proyecto.

A mi casa de Estudios, en especial a la Facultad de Ingeniería de Minas, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica donde recibí gran parte de los conocimientos que hoy me han permitido desarrollar esta investigación.

A mis padres, que a su manera siempre me mostraron que en la vida a pesar de los obstáculos yo sería quien tendría la última decisión.

A mis hermanos, por su apoyo y sus consejos.

A mi hija Isi Marie Sarango Peña, cuyo amor es el mayor de mis impulsos para seguir adelante.

A mi compañera de la vida y a su familia por motivarme siempre a continuar y dar lo mejor de mí.

A mis compañeros de estudios, por su apoyo y comprensión en nuestra formación profesional.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION.....	17
II.	ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.	17
2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.	17
2.2.	FORMULACIÓN Y PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
2.3.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.	18
2.4.	OBJETIVOS.	18
2.4.1.	Objetivo General.	18
2.4.2.	Objetivo Específico.	19
III.	MARCO TEORICO.	19
3.1.	METODOS GEOFISICOS.	19
3.2.	PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA.	20
3.3.	DISPOSITIVOS LINEALES.....	22
3.3.1.	Configuración Schlumberger.	23
3.4.	SONDEO ELECTRICO VERTICAL.....	24
3.5.	PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS.	28
3.5.1.	Porosidad.	34
3.5.2.	Permeabilidad.	34
3.5.3.	Transmisividad.	35
3.5.4.	Coeficiente de Almacenamiento.	36
3.6.	CALIDAD DE AGUA.....	37
3.6.1.	Calidad de Agua para uso Agrícola.	37
3.7.	GLOSARIO DE TERMINOS BASICOS.....	39
3.8.	MARCO REFERENCIAL.	40
3.9.	HIPOTESIS.....	40
IV.	MARCO METODOLOGICO.	41
4.1.	MATERIALES.	41

4.1.1.	Información Cartográfica.	41
4.1.2.	Equipos y Materiales.	42
4.1.3.	Software Utilizado.	43
4.2.	ÁREA DE ESTUDIO.	43
4.3.	CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOMORFOLOGICAS.	44
4.3.1.	Marco Geológico.	45
4.3.2.	Marco Estructural.	49
4.3.3.	Marco Geomorfológico.	50
4.4.	CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE LA CUENCA.	51
4.5.	INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA.	56
4.6.	EL ACUIFERO.	58
4.6.1.	Ubicación y Geometría del Acuífero.	58
4.6.2.	La Napa Freática.	60
4.7.	PROSPECCION GEOFISICA.	61
4.7.1.	Ubicación de Sondajes Electrico Verticales.	62
4.7.2.	Curvas de Resistividad Aparente.	64
4.8.	HIDRODINAMICA SUBTERRANEA.	74
4.8.1.	Prueba de Bombeo.	74
4.8.2.	Parámetros Hidrogeológicos.	74
4.8.3.	Radio de Influencia.	75
4.9.	HIDROGEOQUIMICA.	76
4.9.1.	Características Físico Químicas.	77
4.9.2.	Clasificación de Agua para Riego.	78
4.10.	DEMANDA DE AGUA DEL PROYECTO.	80
4.10.1.	Régimen de Explotación.	80
V.	RESULTADOS Y DISCUSION.	81
5.1.	ANALISIS GEOELECTRICO.	81
5.1.1.	Valoración Cuantitativa.	81

5.1.2.	Valoración Cualitativa.	82
5.1.3.	Secciones Geoelectricas.	84
5.2.	MODELO CONCEPTUAL.	87
5.2.1.	Plataformas.	88
5.2.2.	Parámetros Hidráulicos del Acuífero.	91
5.2.3.	Diseño del Modelo.	91
5.2.4.	Resultados del Modelo.	92
5.3.	RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUA PARA RIEGO.	92
5.4.	DISPONIBILIDAD HIDRICA.	93
5.5.	ANTEPROYECTO DE LA OBRA DE CAPTACION.	94
5.4.1.	Ubicación de los Puntos de Captación.	94
5.4.2.	Diseño Técnico Preliminar de los Pozos.	95
5.4.3.	Diseño Hidráulico de los Pozos.	95
5.4.4.	Diseño Físico de los Pozos.	97
5.4.5.	Especificaciones Técnicas.	99
5.6.	DISCUSION.	106
VI.	CONCLUSIONES.	107
VII.	RECOMENDACIONES.	109
VIII.	ANEXOS.	110
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	138

INDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1: Resistividad de Aguas y Rocas	22
CUADRO N° 2: Tipos de ensayo de bombeo a caudal constante y métodos de interpretación a usar en el estudio de acuíferos confinados, semiconfinados y libres. ..	33
CUADRO N° 3: Valores relativos de permeabilidad.	35
CUADRO N° 4: Valores de coeficiente de almacenamiento.	37
CUADRO N° 5: Inventario de Fuentes de Agua Subterránea	57
CUADRO N° 6: Profundidad y cota del Nivel Freático.	61
CUADRO N° 7: Coordenadas UTM WGS84 de los SEV'S	62
CUADRO N° 8: Parámetros Hidrogeológicos	74
CUADRO N° 9: Radio de Influencia	75
CUADRO N° 10: Clasificación del agua de riego en función de GHF.....	78
CUADRO N° 11: Clasificación del agua de riego en función de su C.E.	78
CUADRO N° 12: Demanda de Agua	80
CUADRO N° 13: Régimen de explotación.	80
CUADRO N° 14: Valoración cuantitativa de los SEV's	81
CUADRO N° 15: Valoración Cualitativa de los SEV's	83
CUADRO N° 16: Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. (U.S. Soil Salinity Laboratory).	93
CUADRO N° 17: Disponibilidad hídrica	94
CUADRO N° 18: Coordenadas de los pozos proyectados	95
CUADRO N° 19: Diseño físico de los pozos	97

INDICE DE FIGURAS.

FIGURA N° 1: Ley de OHM.....	20
FIGURA N° 2: Esquema de método de potencial inducido	23
FIGURA N° 3: Esquema del dispositivo Schlumberger	23
FIGURA N° 4: Representación de medidas en un Gráfico logarítmico.....	26
FIGURA N° 5: Curva para corte de una capa.	27
FIGURA N° 6: Curvas para casos de dos capas.	27
FIGURA N° 7: Curvas de Resistividad Aparente para 3 y 4 capas	28
FIGURA N° 8: Ecuación de THIEM para Ensayo de Bombeo a caudal constante de régimen permanente en Acuífero cautivo.	30
FIGURA N° 9: Fórmula de Dupuit para Ensayo de Bombeo a caudal constante de régimen permanente en Acuífero libre.	31
FIGURA N° 10: Ley de Darcy	35
FIGURA N° 11: Clasificación para las aguas de riego.	39
FIGURA N° 12: Equipo de Resistividad Eléctrica.....	42
FIGURA N° 13: Ubicación del Proyecto	44
FIGURA N° 14: Mapa Geológico Local.....	45
FIGURA N° 15: Depósitos Eólicos del Cuaternario.	47
FIGURA N° 16: Mapa Geomorfológico.	51
FIGURA N° 17: Ubicación del Proyecto en la Cuenca Hidrográfica del río Piura.	52
FIGURA N° 18: Cuenca Hidrográfica del Río Piura	54
FIGURA N° 19: Acuífero del Medio y Bajo Piura.	56
FIGURA N° 20: Extensión del Acuífero Zapallal.....	59
FIGURA N° 21: Ejecución de Sondaje eléctrico vertical	63
FIGURA N° 22: Ubicación de Sondajes Eléctricos Verticales	63
FIGURA N° 23: Curva de Resistividad SEV-1.....	64
FIGURA N° 24: Curva de Resistividad SEV-2.....	65
FIGURA N° 25: Curva de Resistividad SEV-3.....	66
FIGURA N° 26: Curva de Resistividad SEV-4.....	67
FIGURA N° 27: Curva de Resistividad SEV-5.....	68
FIGURA N° 28: Curva de Resistividad SEV-6.....	69
FIGURA N° 29: Curva de Resistividad SEV-7.....	70

FIGURA N° 30: Curva de Resistividad SEV-8.....	71
FIGURA N° 31: Curva de Resistividad SEV-9.....	72
FIGURA N° 32: Curva de Resistividad SEV-10.....	73
FIGURA N° 33: Muestreo de Agua Pozo P-12, El pedregal.	76
FIGURA N° 34: Sección Geoeléctrica A-A'	85
FIGURA N° 35: Sección Geoeléctrica B-B'	86
FIGURA N° 36: Modelo conceptual de la zona de investigación	88
FIGURA N° 37: Relieve del Terreno.	89
FIGURA N° 38: Techos y horizontes no productivos.....	90
FIGURA N° 39: Techos y horizontes productivos.....	90

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: Prueba de Bombeo	110
ANEXO N° 2: Perfil Litológico Pozo N° 02 - Rapel.....	118
ANEXO N° 3: Diagramas de Calidad de Agua	119
ANEXO N° 4: Diseño Preliminar de los Pozos.	122
ANEXO N° 5: Mapa de Ubicación del Proyecto.	124
ANEXO N° 6: Mapa de Geológico.	125
ANEXO N° 7: Mapa de Geomorfológico.	126
ANEXO N° 8: Mapa de Ubicación de Sondajes y Secciones Geofísicas.	127
ANEXO N° 9: Mapa de Resistividad del Horizonte Saturado Superior (Acuífero Libre).	128
ANEXO N° 10: Mapa de Resistividad del Horizonte Saturado Inferior (Acuífero Confinado).	129
ANEXO N° 11: Mapa de Espesor del Horizonte Saturado Superior (Acuífero Libre).	130
ANEXO N° 12: Mapa de Espesor del Horizonte Saturado Inferior (Acuífero Confinado).	131
ANEXO N° 13: Mapa de Ubicación del Techo del Basamento Rocoso o Impermeable.	132
ANEXO N° 14: Mapa de Ubicación del Techo del Basamento Rocoso o Impermeable.	133
ANEXO N° 15: Mapa de Hidroisohipsas.	134
ANEXO N° 16: Mapa de Isopropundidad de la Napa.	135
ANEXO N° 17: Mapa de Isoconductividad Eléctrica de Agua.....	136
ANEXO N° 18: Mapa de Ubicación de Los Pozos Proyectados.	137

RESUMEN

La evaluación hidrogeológica desarrollada en la presente investigación ha permitido poder determinar la existencia de recursos hídricos subterráneos, así como la disponibilidad hídrica subterránea para el aprovechamiento responsable de dichos recursos sin afectar los reservorios acuíferos encontrados.

Las características Lito-estratigráficas de las unidades geológicas, los rasgos geomorfológicos, el desarrollo de la cuenca hidrográfica y la hidrogeología relacionada a la zona de investigación determinan condiciones favorables para la existencia de recursos hídricos subterráneos.

El análisis de los resultados geofísicos determina la existencia de dos horizontes acuíferos aprovechables, el primero superior denominado acuífero libre saturado con agua de mediano grado de mineralización, cuyo techo está ubicado entre 50.00 a 60.00 metros de profundidad, presentando espesores entre 20.00 y 35.00 metros. El segundo inferior denominado acuífero confinado saturado con agua de bajo grado de mineralización, situando su techo entre 110.00 a 130.00 metros de profundidad, con un espesor promedio de 30.00 metros.

La interpretación de los resultados de las pruebas de bombeo para recolectar información referente a los parámetros hidráulicos, indican que existe una mediana permeabilidad en el desarrollo del acuífero, permitiendo una explotación no mayor a 40 l/s por un periodo de 19 horas al día, para evitar afectar las condiciones naturales de los acuíferos.

El proyecto contempla demandas mayores a la oferta obtenida con la perforación de dos (02) pozos, siendo necesario determinar la ubicación de un nuevo pozo en un radio no menor a 621 metros en referencia a los pozos ya ubicados como indican el radio de influencia encontrado durante las pruebas de bombeo.

Palabras Clave.

- Geología.
- Geomorfología.
- Hidrología.
- Hidrogeología.
- Pozo tubular.

ABSTRACT

The hydrogeological evaluation developed in this research has allowed us to determine the existence of underground water resources, as well as the underground water availability for the responsible use of these resources without affecting the aquifer reservoirs found.

The litho-stratigraphic characteristics of the geological units, the geomorphological features, the development of the hydrographic basin and the hydrogeology related to the research zone determine favorable conditions for the existence of underground water resources.

The analysis of the geophysical results determines the existence of two usable aquifer horizons, the first superior called free aquifer saturated with medium-grade mineralization water, whose ceiling is located between 50.00 to 60.00 meters deep, presenting thicknesses between 20.00 and 35.00 meters. The second inferior denominated confined aquifer saturated with water of low degree of mineralization, placing its ceiling between 110.00 to 130.00 meters deep, with an average thickness of 30.00 meters.

The interpretation of the results of the pumping tests to collect information regarding the hydraulic parameters, indicates that there is a medium permeability in the development of the aquifer, allowing an exploitation not exceeding 40 l / s.

The project contemplates demands greater than the supply obtained with the drilling of two (02) wells, being necessary to determine the location of a new well in a radius not less than 621 meters in reference to the wells already located as indicated by the radius of influence found during pumping tests.

Keywords.

- Geology.
- Geomorphology.
- Hydrology.
- Hydrogeology.
- Tubular well.

I. INTRODUCCION.

El aprovechamiento de recursos hídricos subterráneos en el Departamento de Piura constituye una de las principales fuentes de abastecimiento de agua y está ligado al resultado del crecimiento demográfico y económico de la región.

El crecimiento poblacional tiene como resultado la expansión y condicionamiento de nuevas zonas territoriales, las mismas que se describen como zonas áridas y de difícil acceso a fuentes de abastecimiento de agua superficial.

El desarrollo socio económico en la región se representa principalmente a través de la agricultura y como principal fuente de abastecimiento de agua se prevé la ejecución de obras de captación de agua subterránea (pozos tubulares).

La presente investigación busca fomentar el aprovechamiento y conservación de los recursos hídricos subterráneos en el sector Punta Arena, Distrito de Castilla, Provincia y Departamento de Piura, sustentándose en la evaluación hidrogeológica para determinar la disponibilidad hídrica subterránea como parte del uso y manejo responsable de los recursos naturales.

II. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

El aprovechamiento de los recursos naturales debe estar ligado a la conservación de los mismos, para ello es necesario realizar una investigación más profunda en cuanto a la disponibilidad de dichos recursos para evitar su sobre explotación.

La presente investigación se ejecuta como un programa aprovechamiento hídrico subterráneo responsable mediante la Evaluación Hidrogeológica en el sector Punta Arena, Distrito de Castilla, Departamento de Piura, con el fin de determinar la disponibilidad hídrica subterránea en dicha zona. Cabe mencionar que en la actualidad el aprovechamiento de estos recursos es una de las principales fuentes de abastecimiento en sectores donde las fuentes de aguas superficiales no cubren las demandas necesarias o simplemente son inaccesibles.

Actualmente en la zona de investigación se ha proyectado sembrar cultivo de banano, y al encontrarse en una zona muy alejada de las fuentes de agua

superficiales, ha realizado el presente estudio para definir la ubicación y diseño de dos pozos tubulares, así mismo, demostrar la disponibilidad hídrica subterránea para obtener los permisos necesarios. El área bajo riego es de aproximadamente 150.00 Has.

2.2. FORMULACIÓN Y PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

La evaluación hidrogeológica en la zona permitirá determinar la disponibilidad hídrica subterránea, mediante el análisis de fuentes de información y la ejecución de pruebas de campo.

La determinación de la disponibilidad hídrica en el sector Punta Arena será diseñada en base al estudio del acuífero como fuente de abastecimiento de agua subterránea mediante las obras de captación existentes cerca a dicho sector.

2.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

El aprovechamiento de recursos hídricos subterráneos representa un papel importante en el desarrollo demográfico y económico de departamento de Piura y es necesario promover el uso y manejo responsable de dichos recursos mediante un análisis detallado de la Hidrogeología y la disponibilidad del mismo.

La evaluación hidrogeológica para determinar la disponibilidad Hídrica Subterránea en la zona del Proyecto permite la explotación responsable del recurso sin alterar su desarrollo y función dentro de la cuenca y mantener sus características naturales.

2.4. OBJETIVOS.

2.4.1. Objetivo General.

Evaluar la hidrogeología para determinar la disponibilidad hídrica subterránea en el Sector Punta Arena como parte del aprovechamiento responsable y conservación del reservorio acuífero.

2.4.2. Objetivo Específico.

- Evaluar las características geológicas y geomorfológicas de la cuenca sedimentaria donde se ubica el proyecto.
- Evaluar la cuenca hidrográfica y sus aspectos hidrogeológicos.
- Determinar las características Litoestratigráficas del reservorio acuífero.
- Reconocer, a través de Sondajes Eléctricos Verticales, la profundidad y potencia del reservorio acuífero en la zona evaluada.
- Determinar el régimen de explotación de recursos hídricos subterráneos en la zona de investigación.
- Determinar la calidad del agua subterránea basándonos en los resultados físico-químicos de los pozos de prueba seleccionados del inventario.
- Estimar la disponibilidad hídrica Subterránea en la zona investigada.
- Obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo.

III. MARCO TEORICO.

3.1. METODOS GEOFISICOS.

La Geofísica es una ciencia natural que utiliza los postulados fundamentales de la Física para investigar el comportamiento de algunos componentes de nuestro planeta como el campo magnético, la densidad de las rocas, su capacidad para conducir la corriente eléctrica y las ondas sísmicas, el movimiento de los continentes y los fondos marinos, etc.

Todos los métodos geofísicos estudian la propagación de alguna determinada propiedad fisicoquímica de las capas del subsuelo, o de alguna característica relacionada con dichas propiedades. En esencia, la prospección geofísica consistirá en determinar las variaciones de dicha propiedad sobre la zona de estudio a explorar. Estas divergencias del valor normal que es de esperar en la zona investigada respecto del valor real encontrado nos indicarán, por lo

general, la presencia de estructuras o acumulaciones de recursos aprovechables.

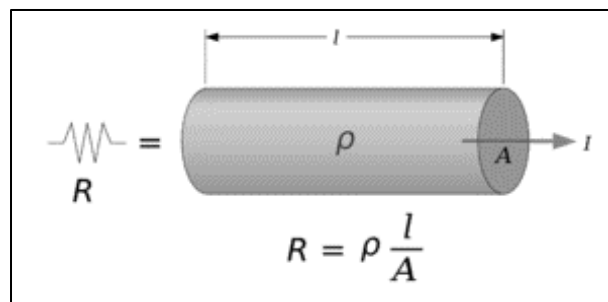
3.2. PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA.

Es la rama de la Geofísica que trata sobre el comportamiento de rocas y sedimentos en relación a la corriente eléctrica. Su finalidad es conocer la forma, composición y dimensiones de estructuras o cuerpos inmersos en el subsuelo a partir de medidas de superficie. Así pues, conseguimos trazar una cartografía de resistividades aparentes del subsuelo que nos darán información sobre estructuras.

Las prospecciones eléctricas se pueden basar en fuentes naturales de potencial y corriente, aunque generalmente se trata del estudio de señales inducidas a través de cuerpos conductores que generan campos eléctricos mediante fuentes artificiales.

El flujo de una corriente eléctrica a través de las rocas o los sedimentos, puede explicarse mediante la **Ley de Ohm** que establece que la caída de potencial ΔV entre 2 puntos por los que circula una corriente eléctrica de intensidad **I**, es proporcional a ésta y a la resistencia **R** que ofrece el medio al pasaje de la corriente.

FIGURA N° 1: Ley de OHM



Si llamamos **R** a la resistencia de un conductor cilíndrico de longitud **L**, sección de área **A**, y resistividad ρ

$$R = \rho (L/A); \rho = R \cdot (A/L)$$

La resistividad se expresará en $\Omega \cdot m$ (o $\Omega \cdot cm$).

La intensidad de corriente I que pasa por un cuerpo y la diferencia de potencial V que se produce están relacionados por la ley Ohm:

$$I = V/R$$

Y la corriente por unidad de área $i = I/A$ es llamada densidad de corriente.

Se hablará en todo caso, de medidas de resistividad aparente, ya que la resistividad no es homogénea en todo el terreno. La resistividad viene determinada por diferentes litologías y estructuras geológicas, es decir, un medio muy heterogéneo. Esta complejidad no se tiene en cuenta cuando tomamos medidas, y se asume un subsuelo uniforme. Por lo tanto, no se considerará como el valor real de dicho material o capa.

La resistividad es una propiedad inversa a la conductividad eléctrica y generalmente se expresa en ohm por metro (.m).

La resistividad de la mayoría de las rocas y sedimentos secos es elevada, por lo que actúan como semiconductores, o conductores de baja capacidad. Este comportamiento cambia significativamente cuando las fisuras o los poros están ocupados por agua, lo que genera una disminución de la resistividad, o lo que es lo mismo en aumento en la capacidad de conducción de la corriente eléctrica. Además del grado de saturación también incide en la resistividad del medio, el contenido salino del agua; a mayor salinidad, menor resistividad y viceversa.

Los contrastes en las resistividades son los que permiten aplicar exitosamente los métodos de prospección geoelectrica mediante la inyección de corrientes continuas.

En el siguiente cuadro describen valores de resistividad asignados a tipos de agua y rocas según ASTIER, JEAN LOUIS, 1982

CUADRO N° 1: Resistividad de Aguas y Rocas

Tipos de Agua y Roca	Resistividad, Ohm-m
Agua de mar	0,2
Agua de acuíferos aluviales	10 – 30
Agua de manantiales	50 – 100
Arenas y gravas secas	1 000 – 10 000
Arenas y gravas con agua dulce	50 – 500
Arenas y gravas con agua salada	0,5 – 5
Arcillas	2 – 20
Margas	20 – 100
Calizas	300 – 10 000
Areniscas arcillosas	50 – 300
Areniscas cuarcíticas	300 – 10 000
Cineritas, tobas volcánicas	20 – 100
Lavas	300 – 10 000
Esquistos grafitosos.	0,5 – 5
Esquistos arcillosos o alterados.	100 – 300
Esquistos sanos	300 – 3 000
Gneis, granito alterados	100 – 1 000
Gneis, granito sano	1 000 – 10 000

Fuente: Geofísica aplicada a la Hidrogeología. ASTIER, Jean Louis. – Editorial Paraninfo. - Madrid - España.

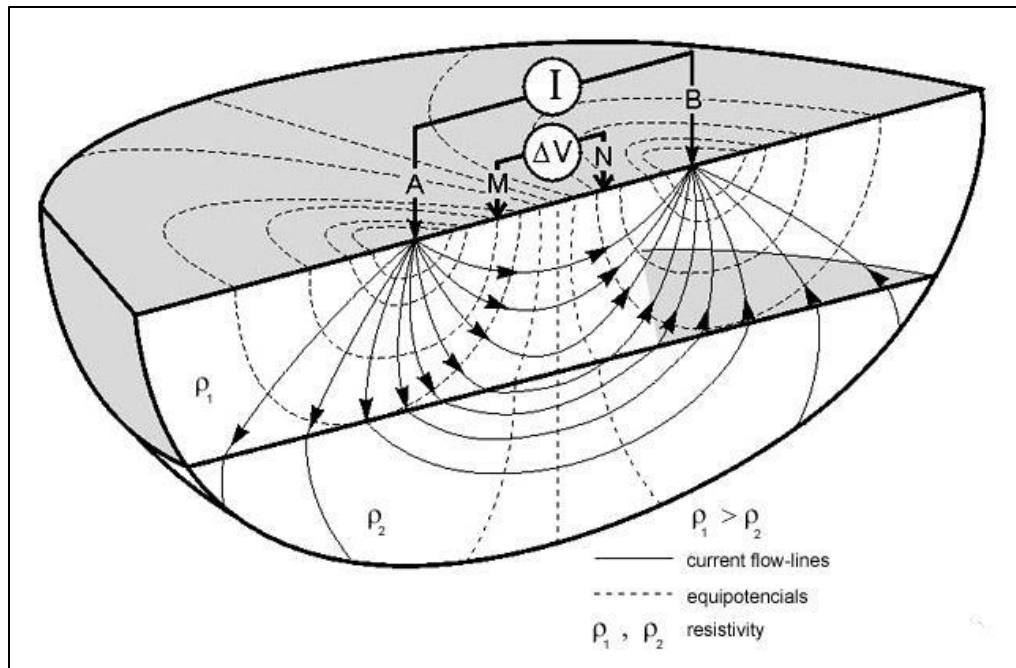
3.3. DISPOSITIVOS LINEALES.

Las resistividades reales se determinan a través de una resistividad aparente, la cual se calcula por medio de mediciones de corrientes y diferencias de potencial entre pares de electrodos colocados en la superficie del terreno.

Su funcionamiento, en general, consiste en enviar corriente al terreno mediante dos electrodos A y B que se clavan en el suelo y una vez establecido así un campo eléctrico artificial, se miden sus condiciones con otro par de electrodos M y N adicionales, también clavados en el terreno y cuyas distancias se varían convenientemente estableciendo de esta forma diferentes técnicas de actuación. Los electrodos de inyección de corriente (A y B) y los de medición del potencial (M y N) se disponen alineados, de acuerdo a las configuraciones propuestas por

Schlumberger y Wenner.

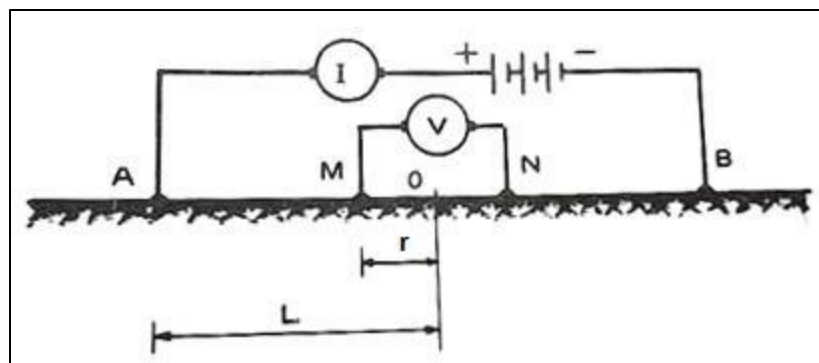
FIGURA N° 2: Esquema de método de potencial inducido



3.3.1. Configuración Schlumberger.

Dispositivo, en el cual los electrodos de medida M y N se colocan simétricamente a una distancia r del punto de estación O, y los electrodos de corriente, de igual forma, a la distancia variable L , de forma que los cuatro electrodos queden alineados sobre el terreno. Estamos hablando por lo general, de una composición simétrica de los electrodos **AMNB** donde la distancia **MN** es mucho menor que **AB**, generalmente con la relación **AB > 5MN**.

FIGURA N° 3: Esquema del dispositivo Schlumberger



Aplicando la fórmula (1), resulta un factor geométrico:

$$k = \frac{\pi}{2} \left(\frac{L^2 - r^2}{r} \right)$$
$$\rho = \frac{\pi}{2} \left(\frac{L^2 - r^2}{r} \right) \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

En ciertos casos, el electrodo B se lleva a gran distancia de los demás de modo que no influya sobre el valor de ΔV observado. Se tiene entonces el dispositivo denominado Schlumberger asimétrico, o semi-Schlumberger.

3.4. SONDEO ELECTRICO VERTICAL.

El Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) tiene como objetivo observar la variación de la resistividad a través de las diversas capas del subsuelo, obteniendo además sus espesores. Concluyendo con una interpretación de los resultados, se identificarán los tipos de materiales que conforman el subsuelo de acuerdo con el valor de su resistividad.

La técnica es muy adecuada para determinar la profundidad y la resistividad para capas llanas de estructuras rocosas, como acumulaciones sedimentarias, o para precisar la profundidad a la que se encuentra el nivel freático, siempre en situaciones en las que exista un fuerte contraste de resistividades.

Este tipo de prospección (SEV) se sigue utilizando sobre todo por su sencillez y la relativa economía del equipo necesario.

Para generar y registrar un SEV se requiere:

- **Circuito de emisión**, integrado por una fuente de energía, un amperímetro para medir la intensidad de la corriente, puntos de emisión (A y B) consistentes en clavos metálicos de 0,5 a 1 m de largo y 20 mm de diámetro y cables de transmisión. En sondeos normales se utiliza una batería de 12 voltios en serie con un convertidor de unos 250 W de potencia. El amperímetro permite registrar hasta 10 A, con una precisión del 1% y resolución de 0,1 mA. El cable de transmisión tiene una sección de 1 mm² y

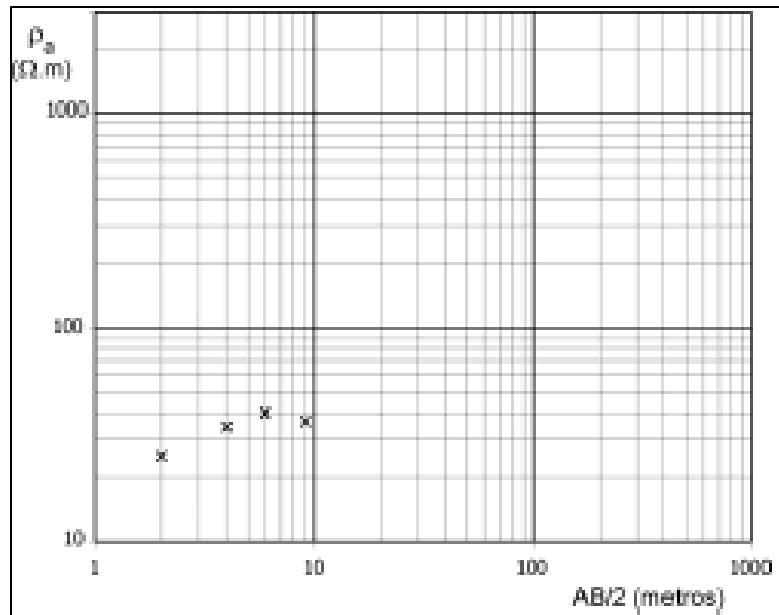
para transportarlo y extenderlo se arrolla a un carrete de unos 500 m de capacidad.

- **Circuito de recepción**, compuesto por un milivoltímetro electrónico de alta impedancia y dos electrodos para la medición del potencial (M y N) impolarizables, constituidos por vasos con fondo poroso que contienen una solución saturada de sulfato de cobre, en los que se sumerge una varilla de cobre que está conectada al cable de medición del circuito.

Las distancias a las que se sitúan los electrodos dependen de los objetivos planteados y del modo de trabajo del investigador. Por ejemplo, en el caso de querer investigar hasta una profundidad de 150 metros, el SEV podría empezar con $AB/2 = 2$ metros y terminar en $AB/2 = 300$ metros, realizando en ese intervalo de 15 a 25 medidas de resistividad aparente. Las distancias se van espaciando de modo que al representarse en escala logarítmica queden equidistantes.

Posteriormente, los resultados se representan en un gráfico logarítmico para que la forma y el tamaño de la curva sean independientes de las unidades utilizadas en las mediciones. En abscisas la distancia $AB/2$ de cada medida, y en ordenadas la resistividad aparente de cada punto. Esta curva es la que vamos a interpretar para obtener los espesores y resistividades de las formaciones geológicas de la zona en que se ha realizado el SEV. Esto, actualmente, se puede obtener mediante programas existentes en el mercado.

FIGURA N° 4: Representación de medidas en un Grafico logarítmico.



Continuamos con la representación de los datos de campo, la curva de resistividad aparente está dibujada por puntos que corresponden a cada estación.

Estos modelos de curvas vienen dados por los métodos de Orellana y Mooney, sencillos de aplicar.

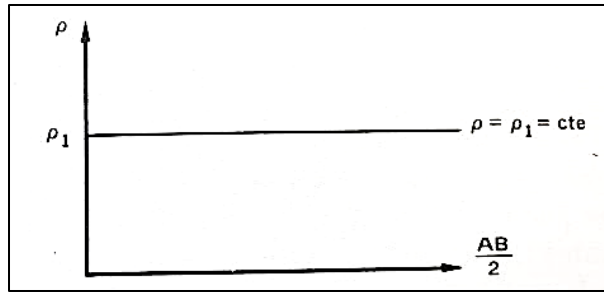
En este caso, para que la curva de resistividad aparente obtenida sea interpretable, el subsuelo debe estar formado por capas horizontales y homogéneas. Generalmente la realidad se acerca lo suficientemente a esta descripción teórica como para que los resultados sean aprovechables. En otros casos, el procedimiento no es aplicable.

Un corte geoelectrico de n capas se compone de los siguientes datos: n valores de resistividad y $n-1$ espesores, debido a que no se conoce el espesor de la última capa y, por lo tanto, se considera de espesor infinito.

A continuación, se presentan las diferentes curvas patrón en función del tipo de corte geoelectrico:

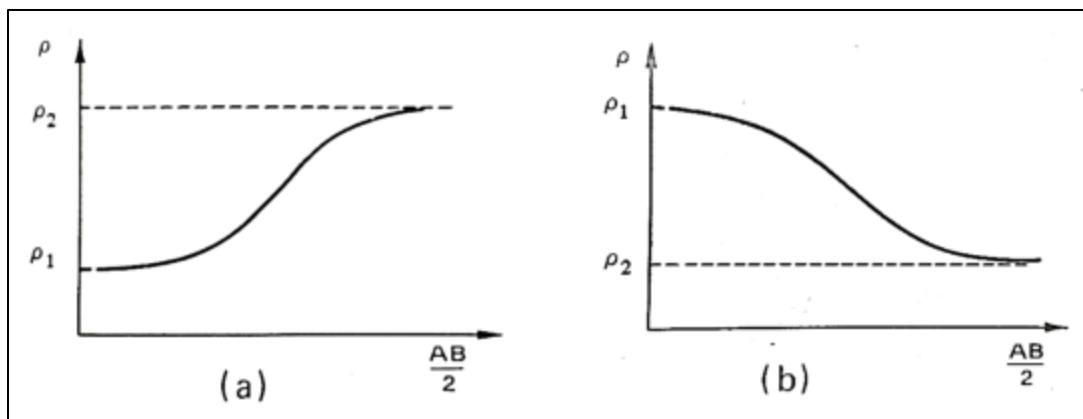
Corte geoelectrico de una capa (ρ_1). La curva viene representada por una recta paralela a las abscisas.

FIGURA N° 5: Curva para corte de una capa.



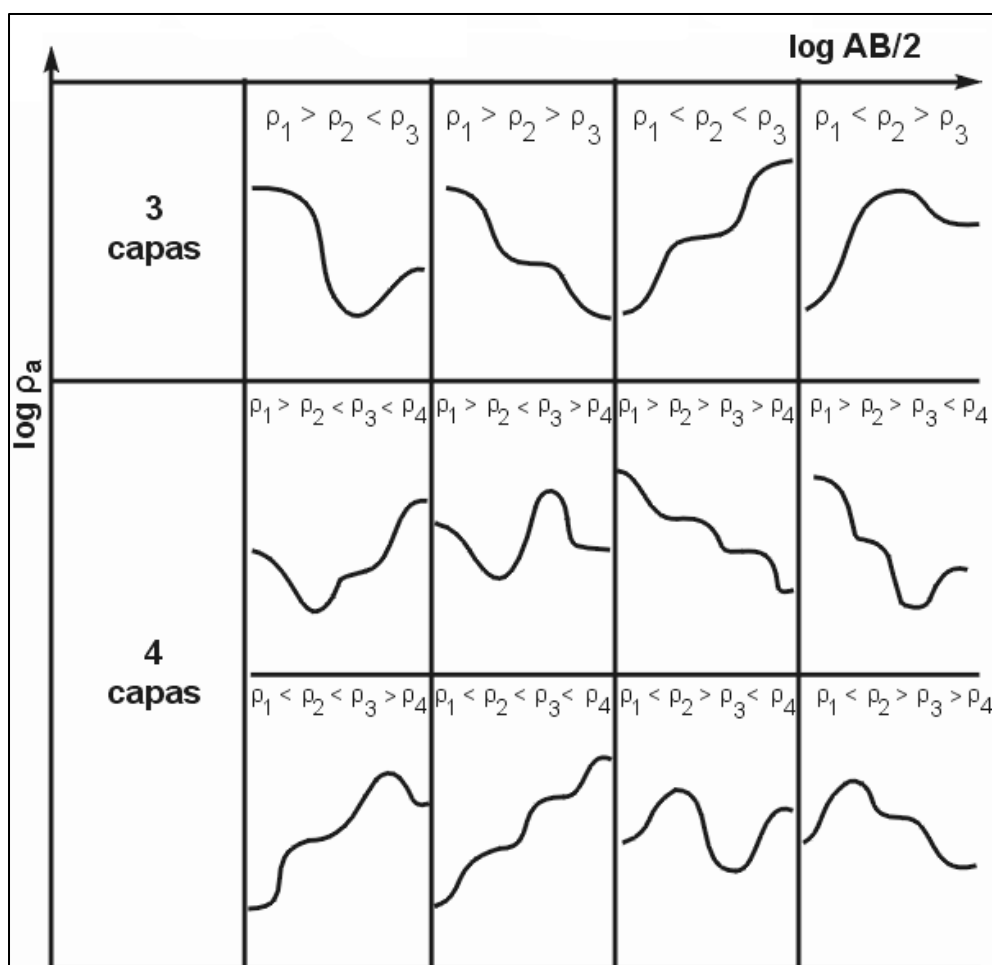
Corte de dos capas (ρ_1 y ρ_2). Solamente pueden presentarse dos relaciones posibles, $\rho_1 < \rho_2$ (a) y $\rho_1 > \rho_2$ (b). Ninguno de los casos recibe nomenclatura específica.

FIGURA N° 6: Curvas para casos de dos capas.



A continuación, se representan esquemáticamente las formas de las curvas de resistividad aparente versus $\frac{AB}{2}$ para 3 y 4 capas y diferentes relaciones de ρ en profundidad.

FIGURA N° 7: Curvas de Resistividad Aparente para 3 y 4 capas



Para identificar las profundidades de las capas con diferentes resistividades, deben compararse las curvas obtenidas en el campo con otras confeccionadas en gabinete que se denominan curvas teóricas.

3.5. PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS.

Los parámetros hidrogeológicos son los índices de los cálculos hidrodinámicos, relacionados con el movimiento de las aguas subterráneas en los horizontes acuíferos, en la exploración y explotación de los yacimientos de aguas subterráneas dulces, medicinales, industriales, termales.

Los parámetros T, S y m (porosidad) definen la capacidad de los acuíferos para almacenar y transmitir agua.

El conocimiento del valor de estos parámetros es fundamental para realizar cálculos que son básicos en hidrogeología: filtraciones entre acuíferos o desde la superficie del terreno, comunicación del pozo con otras captaciones próximas, caudales óptimos de bombeo, tiempos de tránsito de contaminantes,

existencia de bordes impermeables y zonas de recarga, etc. Los métodos existentes para la determinación de estos parámetros son:

Campo:

- A. Ensayos de bombeo
- B. Ensayos de trazador
- C. Ensayos de inyección

- Laboratorio:

Ensayos de permeabilidad, de compactación, de lixiviación.

Los métodos de campo son representativos de un mayor volumen de medio físico que los de laboratorio, por tanto, son preferibles a éstos, aunque si existen datos de laboratorio deben utilizarse como contraste de los de campo.

En la presente investigación se determinan los parámetros Hidrogeológicos mediante Ensayos de Bombeo.

Un ensayo de bombeo consiste en bombear agua en una captación (bajo unas condiciones prefijadas en la fase de diseño de la prueba) controlando simultáneamente el caudal extraído (que puede ser constante o variable, según el tipo de ensayo elegido) y la evolución temporal del nivel de agua en propia captación y en otras cercanas. Los métodos de ensayo existentes son:

A) A caudal constante:

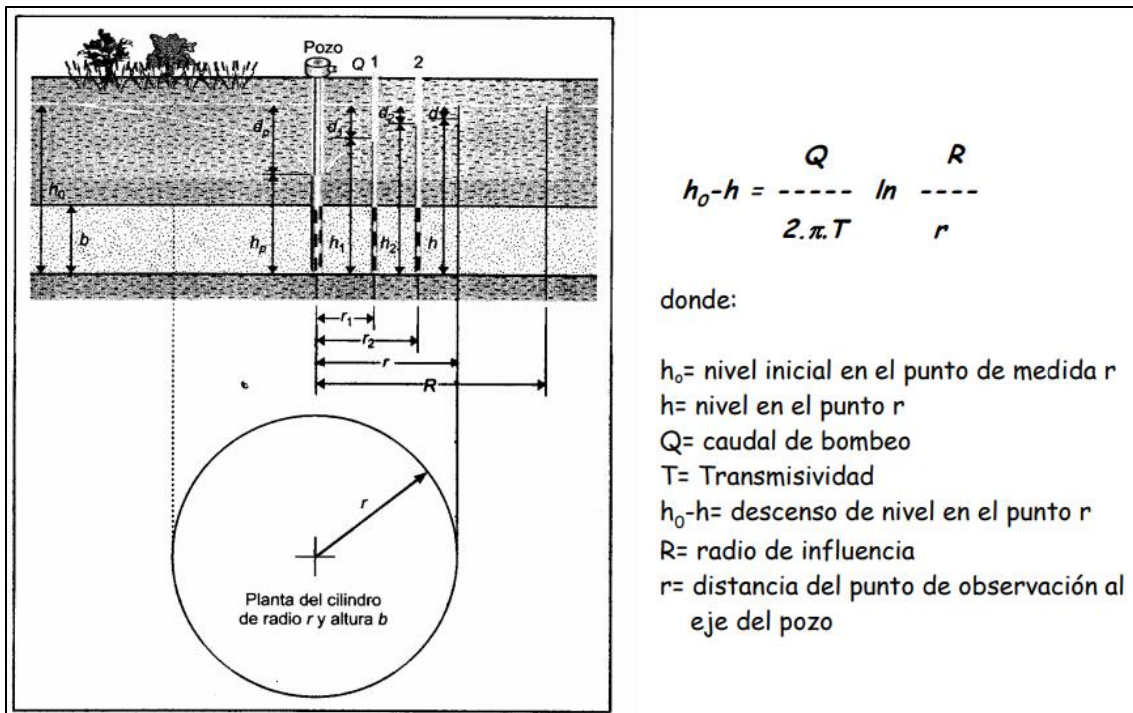
- ❖ **Régimen permanente.** Los niveles en el pozo de bombeo se estabilizan a partir de un tiempo y ya no varían con el bombeo. Esto implica que el acuífero actúa como mero transmisor de la recarga y que el bombeo no toma agua del almacenamiento. Se interpreta la evolución de los descensos de nivel en puntos de observación cercanos, no el descenso total.

Ensayo de Bombeo y Ecuación Para el Análisis de Datos.

Acuífero cautivo:

- Requisitos: acuífero homogéneo, isótropo e infinito, no existe recarga vertical (es decir, T es cte. en cualquier punto), pozos totalmente penetrantes.
- El flujo es bidimensional y radial. El caudal que sale por el pozo es igual al que atraviesa la superficie cilíndrica de altura constante igual a b y radio r.
- En un punto cualquiera el nivel piezométrico variará durante el bombeo según la expresión de THIEM:

FIGURA N° 8: Ecuación de THIEM para Ensayo de Bombeo a caudal constante de régimen permanente en Acuífero cautivo.



Fuente: Hidrología Subterránea – Marisol M.A 2008.

Acuífero libre:

En este caso el flujo no es bidimensional ni radial. El caudal que sale por el pozo es igual al que atraviesa la superficie cilíndrica de altura variable e igual al nivel freático (h) en cada momento. En un punto cualquiera el nivel piezométrico variará durante el bombeo según la expresión de DUPUIT:

FIGURA N° 9: Formula de Dupuit para Ensayo de Bombeo a caudal constante de régimen permanente en Acuífero libre.

$$h_0^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi \cdot T} \ln \frac{R}{r}$$

- ❖ **Régimen variable.** Los niveles en el pozo van variando durante toda la prueba, lo que significa que el agua extraída procede total o parcialmente del almacenamiento del acuífero. Estos ensayos suelen ser a caudal constante (la variable de control es el nivel), pero también se pueden realizar a nivel constante (se va variando el caudal para mantener el nivel constante).

Ensayo de Bombeo y Ecuación Para el Análisis de Datos.

Acuífero cautivo:

La resolución matemática de la ecuación de flujo lleva a la fórmula de THEIS y, para la mayoría de las situaciones, a la simplificación de JACOB (Jacob-Cooper): en un punto cualquiera el nivel piezométrico variará durante el bombeo según la expresión (1):

$$h_0 - h = s = 0,183 \frac{Q}{T} \ln \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S}$$

Donde:

s = descenso en el tiempo t (desde el comienzo del bombeo) en el punto de medida situado a la distancia r del eje del pozo de bombeo.

Q = caudal de bombeo

T = Transmisividad

S= coeficiente de almacenamiento

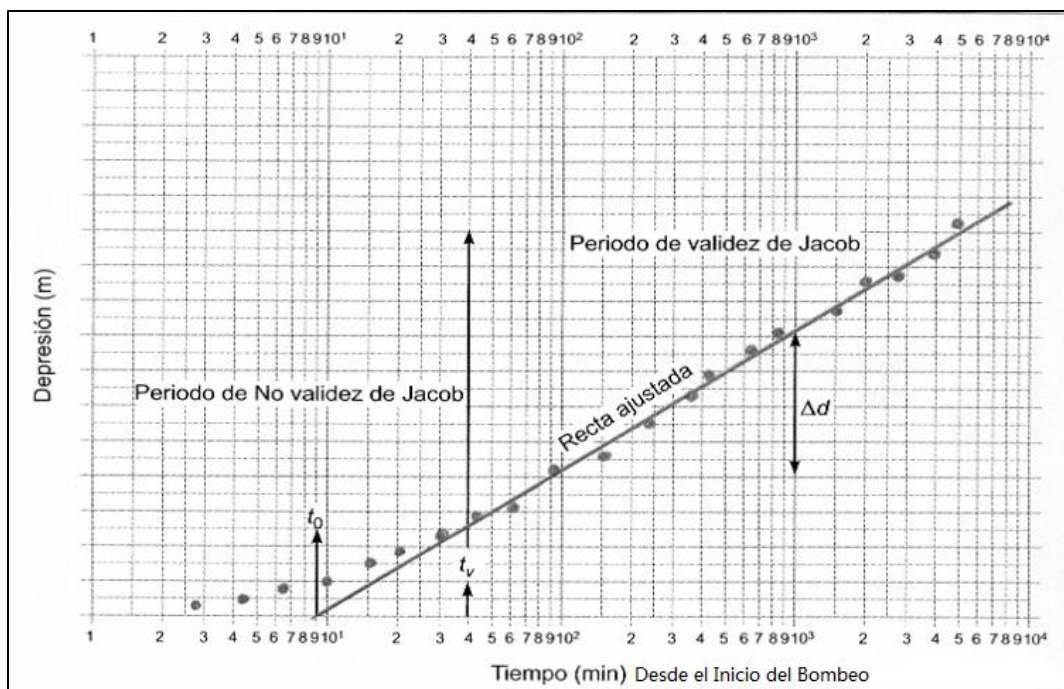
Con una pequeña transformación matemática en la expresión anterior se llega a la expresión (2) equivalente siguiente:

$$s = 0,183 \frac{Q}{T} \log t - 0,183 \frac{Q}{T} \log t_0$$

$$y = m \cdot x + n$$

Es decir, se trata de una recta de la forma $y = m \cdot x + n$. Por tanto, basta dibujar x ($\log t$) en papel semilogarítmico frente a y (s) para calcular el valor de la pendiente m . Una vez conocida m , como el caudal Q se conoce, se calcula T :

$$T = 0,183 \cdot Q/m \quad m = \text{descenso/1 ciclo log.}$$



Para calcular S (coeficiente de almacenamiento) se determina el valor del punto en el que la recta corta al eje X (t_0). Conceptualmente significa “tiempo del bombeo para el cual el descenso es aún cero” (esto requiere que el eje Y comience en cero). Si en la expresión (2) se toma $t = t_0$, entonces se tiene que:

$$t_0 = \frac{r^2 \cdot S}{2,25 \cdot T} \quad y \quad S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

B) A caudal variable:

- ❖ Bombeo a caudal crítico.
- ❖ Bombeo escalonado. El caudal se aumenta tres o cuatro veces a lo largo del ensayo, pero se mantiene constante dentro de cada escalón.

C) Ensayos de recuperación: se interpreta la evolución de los niveles en el propio pozo de bombeo durante la recuperación de éstos tras un ensayo de bombeo. La elección del tipo de ensayo a realizar y la interpretación del mismo en un acuífero dado requiere conocer las condiciones de contorno de la zona del acuífero que se quiere estudiar (radio del pozo, profundidad de captación, espesor total y saturado, extensión, heterogeneidad espacial, etc.)

En el siguiente Cuadro se sintetizan los tipos de ensayo a caudal constante (que son los más usuales) adecuados para analizar el comportamiento de acuíferos confinados, semiconfinados y libres, así como los métodos de análisis a usar en cada caso para la interpretación.

CUADRO N° 2: Tipos de ensayo de bombeo a caudal constante y métodos de interpretación a usar en el estudio de acuíferos confinados, semiconfinados y libres.

Tipo de acuífero	Tipo de ensayo		Método de análisis
Confinado	Régimen permanente		Fórmula de Thiem
	Régimen variable	Interpretación de descensos	Fórmula de Theis
		Aproximación logarítmica de Jacob	
		Interpretación de recuperación	Fórmula de recuperación de Theis
Semiconfinado	Régimen permanente		Fórmula de De Glee o de Jacob-Hantush
	Régimen variable	Int. Descensos	Fórmula de Hantush
		Int. Recuperación	Análisis ascensos teóricos
Libre	Régimen permanente		Fórmula de Thiem (1) y corrección de Jacob
			Fórmula de Dupuit (2)
	Régimen variable	Int. descensos	Fórmula de Theis (3)
			Aproximación logarítmica de Jacob (3)
			Corrección de Dupuit
			Fórmula de Boulton
			Fórmula de Neuman
		Int. recuperación	Fórmula de recuperación de Theis (1)

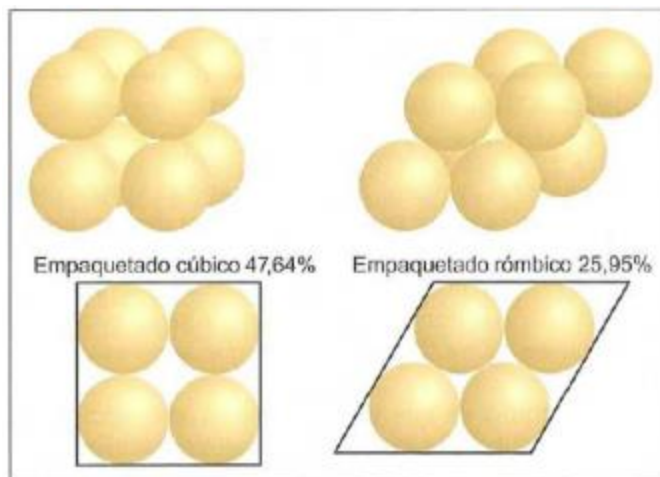
(1) Para descensos pequeños en comparación con el espesor saturado
(2) Si es admisible la aproximación de Dupuit-Forcheimer
(3) Si los descensos son pequeños en comparación con el espesor saturado y no existe drenaje diferido (es instantáneo).

Fuente: Hidrología Subterránea – Marisol M.A 2008

3.5.1. Porosidad.

La porosidad es la relación entre el volumen de huecos y el volumen total de una roca o suelo. Es un parámetro adimensional y depende únicamente de la constitución de la roca o suelo, es decir, de su textura característica, sin que intervenga la forma geométrica ni la potencia de la formación o su mecanismo de funcionamiento hidráulico en la naturaleza.

$$n = \frac{V_p}{V_t} \times 100$$



3.5.2. Permeabilidad.

Es el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función a la textura de la misma, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica.

Es la constante de proporcionalidad lineal entre el caudal y el gradiente hidráulico. Darcy (1856) propuso la siguiente ecuación para conocer el movimiento del agua en medios porosos.

$$Q = K \cdot i \cdot S$$

Dónde:

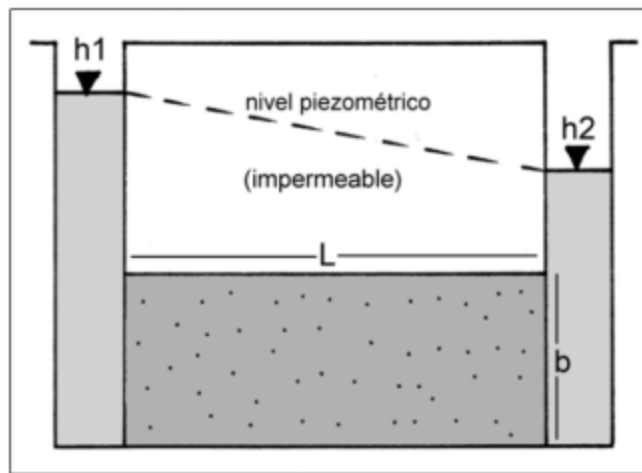
Q: Caudal que circula por un medio poroso (m/día).

K: Coeficiente de permeabilidad del suelo (m/día)

i: Gradiente hidráulico; $(h_1 - h_2) / L$ (adimensional)

S: Sección (m²). Generalmente sección unitaria; “b” (espesor)* 1

FIGURA N° 10: Ley de Darcy



Fuente: GARCIA, M y FERNANDEZ, A. 2009

CUADRO N° 3: Valores relativos de permeabilidad.

Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/s)	Suelo típico
Muy permeable	$> 1 \times 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	1×10^{-1} a 1×10^{-3}	Arena, arena fina
Poco permeable	1×10^{-3} a 1×10^{-5}	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	1×10^{-5} a 1×10^{-7}	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 \times 10^{-7}$	Arcilla

Fuente: TERZAGHI y PECK, 1980

3.5.3. Transmisividad.

La transmisividad T es el parámetro definido para evaluar la capacidad de transmitir agua de los acuíferos, teniendo en cuenta no solo la textura del acuífero y las características del fluido, sino también las

características estructurales o geométricas. Se define mediante la siguiente ecuación:

$$T = b \times K$$

Dónde:

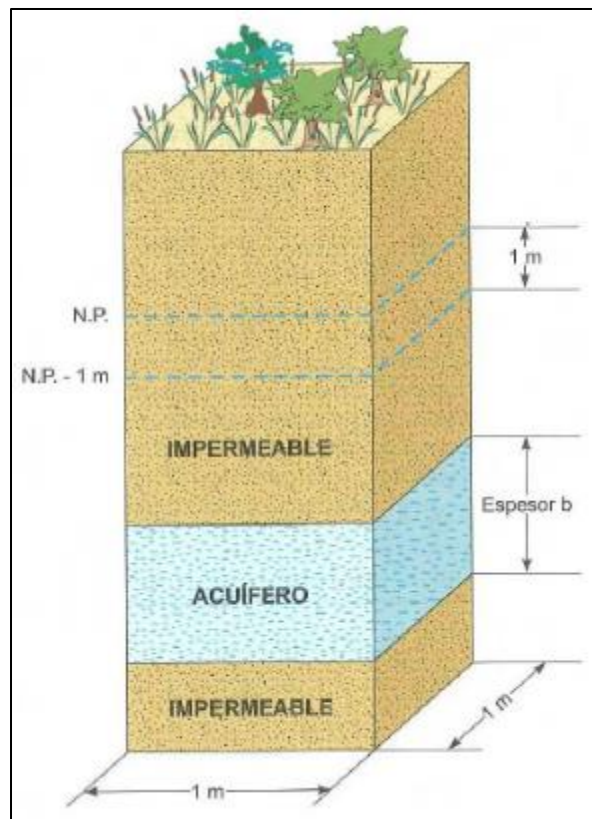
T: Transmisividad (m^2/s),

b: Espesor saturado del acuífero (m)

K: Permeabilidad o Conductividad hidráulica (m/s).

3.5.4. Coeficiente de Almacenamiento.

El coeficiente de almacenamiento (S) se expresa como el volumen de agua que un acuífero libera o incorpora al almacenamiento por unidad de superficie de acuífero y por unidad de cambio de potencial. Es igual al volumen de agua que sale del acuífero cuando el nivel piezométrico desciende 1 metro. El coeficiente de almacenamiento es un número adimensional.



La forma en que las formaciones geológicas permeables liberan agua es distinta según su situación en la naturaleza y el estado de sus niveles piezométricos. Así cabe distinguir formaciones o acuíferos en funcionamiento confinado o acuíferos en funcionamiento libre.

CUADRO N° 4: Valores de coeficiente de almacenamiento.

Tipo de material permeable	Forma del funcionamiento del acuífero	Valores medio de S
<i>Kárstico:</i> Caliza y dolomías jurásicas	Libre Semiconfinado Confinado	2×10^{-2} 5×10^{-4} 5×10^{-5}
Caliza y dolomías cretácicas y terciarias	Libre Semiconfinado Confinado	$2 \times 10^{-2} - 6 \times 10^{-2}$ $10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$ $10^{-4} - 5 \times 10^{-5}$
<i>Poroso intergranular:</i> Gravas y arenas	Libre Semiconfinado Confinado	$5 \times 10^{-2} - 15 \times 10^{-2}$ 10^{-3} 10^{-4}
<i>Kársticos y porosos:</i> Calcarenitas marinas terciarias	Libre	$15 \times 10^{-2} - 18 \times 10^{-2}$

Fuente: VILLANUEVA, M y IGLESIAS, A

3.6. CALIDAD DE AGUA.

La calidad del agua está definida por su composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contiene, el conjunto de todos ellos, permite establecer las posibilidades de su utilización, clasificándola así, de acuerdo con los límites establecidos y los usos para la que es apta. Como para uso humano, agrícola e industrial.

3.6.1. Calidad de Agua para uso Agrícola.

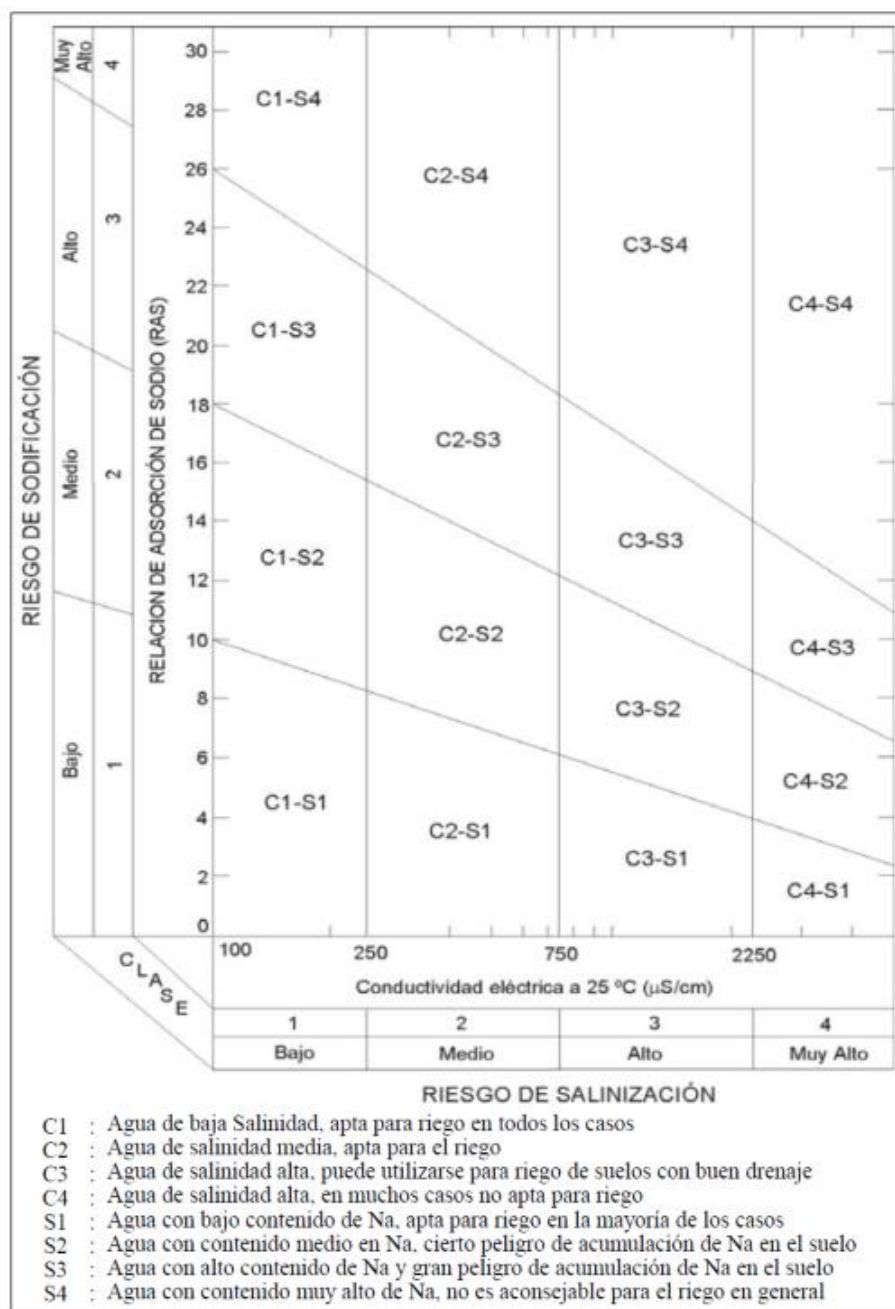
Hay muchas clasificaciones para las aguas destinadas a riego, la clasificación de Wilcox es una de ellas la cual utiliza la conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción de sodio (RAS).

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

La conductividad eléctrica del agua se obtiene directamente en el campo utilizando un conductivímetro de bolsillo o portátil. Es necesario realizar la corrección de la conductividad a 25 °C, por ello es necesario medir simultáneamente la temperatura del agua.

Se considera los valores de porcentaje de sodio con relación a la conductividad para la clasificación de aguas para riego la cual está definida por los parámetros C y S con subíndices cada uno de ellos, los cuales tienen la siguiente información que se aprecia en la siguiente figura

FIGURA N° 11: Clasificación para las aguas de riego.



Fuente: U.S. Salinity Laboratory (USLS)

3.7. GLOSARIO DE TERMINOS BASICOS.

- **Acuífero:** Formación geológica con la capacidad de almacenar y transferir aguas subterráneas.
- **Cuenca Hidrográfica:** Sistema de drenaje Natural que conduce sus aguas hacia el mar a través de un único río.

- **Disponibilidad Hídrica:** Volumen total de agua precipitada en la Cuenca para ser utilizado.
- **Hidrodinámica:** Estudio de la dinámica de los fluidos
- **Hidrogeoquímica,** es una ciencia que estudia las propiedades químicas del agua superficial y subterránea.
- **Inventario de Fuentes de Agua Subterránea:** Registro Descriptivo de Pozos inventariados en un sector. Permite evaluar las condiciones de explotación del acuífero.
- **Parámetros Hidráulicos:** Caracterizan los acuíferos y definen las probabilidades de explotación de los mismos.

3.8. MARCO REFERENCIAL.

- Artículo 225 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante Decreto Supremo 001-2010-AG
- Gobierno de la República del Perú (2009). “Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)”.
- Gobierno Regional de Piura (2010). “Expediente Técnico para la creación y conformación del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura”.

3.9. HIPOTESIS.

¿La Aplicación del método geoelectrico y el Análisis Hidrogeológico de la zona de investigación nos permite determinar la disponibilidad Hídrica subterránea para el aprovechamiento de dichos recursos?

IV. MARCO METODOLOGICO.

4.1. MATERIALES.

4.1.1. Información Cartográfica.

La información cartográfica procede:

- ❖ Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico **INGEMMET**. - Cartas Geológicas del Perú: Carta N°11-b (Carta Geologica de Piura) en escala 1/100000.
- ❖ Ministerio de Energía y Minas **MEN**. – Mapa de Cuencas Sedimentarias.
- ❖ Ministerio del Ambiente **MINAM**. – Mapa Geomorfológico del Departamento de Piura.
- ❖ Instituto Geográfico Nacional **IGN**. - Carta Nacional de Piura (11-b), Limites Departamentales, Limites Provinciales y Limites Distritales del Perú, Red Vial Nacional, escala 1/100000.
- ❖ Instituto Nacional de Estadística e Informática **INEI**. – Ubicación de Centros Poblados (Censo 2017).
- ❖ Ministerio de Transportes y Comunicaciones **MTC**. – Red Vial Nacional, Red Vial Departamental y Red Vial Vecinal.
- ❖ Autoridad Nacional del Agua **ANA**. – Cuencas Hidrográficas del Perú: Cuenca Hidrográfica de. Rio Piura.

Acuíferos del Perú: Acuífero del Medio y Bajo Piura

4.1.2. Equipos y Materiales.

❖ Prospección Geofísica:

- ✓ GPS Garmin de 12 canales.
- ✓ Equipo de Resistividad eléctrica PASI modelo 16GL-N.
- ✓ Fuentes de energía conformada por baterías P100-NX (12V DC).
- ✓ Cables y electrodos de acero y de bronce.
- ✓ Estacas de madera.
- ✓ Libretas de campo, calculadora, lápiz y borrador.
- ✓ Vehículo de apoyo.
- ✓ Celular con cámara posterior de 16 megapíxeles.
- ✓ Computadora HP Intel Core I5.

FIGURA N° 12: Equipo de Resistividad Eléctrica.



❖ Prueba de Bombeo:

Para la ejecución de la Prueba de Bombeo realizada en un pozo cercano al proyecto el único equipo utilizado fue la sonda para

controlar los niveles de descenso y recuperación ya que el pozo observado ya contaba con el equipamiento necesario (Bomba y Caudalímetro)

4.1.3. Software Utilizado.

Los softwares utilizados fueron:

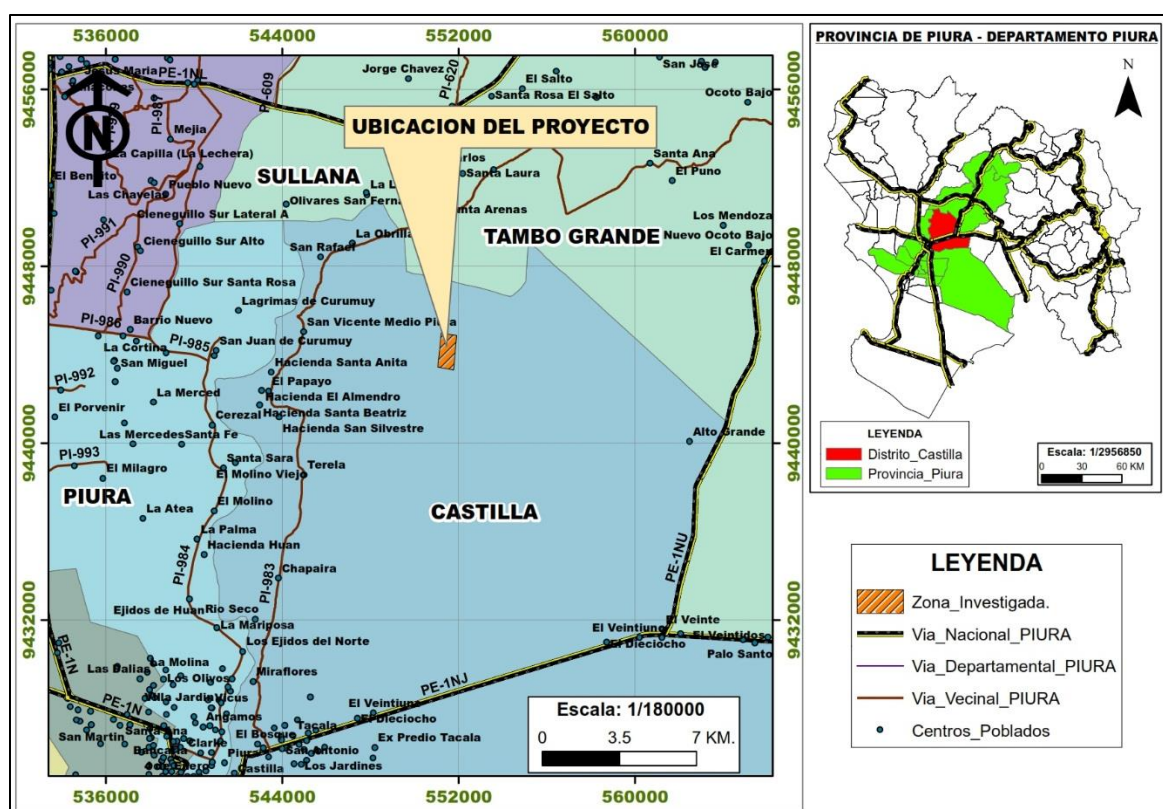
- ❖ Passi. – Procesamiento de valores de resistividad.
- ❖ Passi VES 2000. – Elaboración de Curvas de resistividad.
- ❖ Google Earth. – Georreferencia de Zona Investigada.
- ❖ Global Mapper. - Elaboración de topografía Superficial.
- ❖ ArcMap. – Procesamiento y elaboración de Mapas.
- ❖ AutoCAD. – Elaboración de secciones geoelectricas, diseños y membrete.
- ❖ Modflow Flex 2015.- Elaboración de Modelo Conceptual.

4.2. ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se ubica en el Distrito de Castilla, Provincia y Departamento de Piura. Geográficamente, el Distrito de Castilla se encuentra situado al este de la Provincia de Piura, en la margen izquierda del río del mismo nombre, que a la vez le sirve de límite teniendo una altitud media de 30 m.s.n.m.; siendo sus coordenadas geográficas, 05°12'45" de Latitud Sur y 80°37'15" de Longitud Oeste. Cuenta con una superficie de 662.23 Km² y una densidad poblacional de 182.4 Hab/Km². Por su situación geográfica y el constante auge que día a día va cobrando tanto el progreso urbano como rural, Castilla está considerada como uno de los distritos más importantes de la región.

El acceso a la zona de investigación se realiza saliendo de la ciudad de Piura por la carretera afirmada que nace en la intersección de las avenidas Andrés Avelino Cáceres y Guillermo Irazola, denominada Vía Vecinal PI 983, pasando por los caseríos de Miraflores, Río Seco, Chapairá, Terela y El Papayo, siguiendo siempre la carretera afirmada. Luego se toma una trocha carrozable hacia la derecha hasta llegar al predio de investigación. El tiempo de llegada desde la ciudad a esta zona es de aproximadamente 40 minutos en vehículo motorizado.

FIGURA N° 13: Ubicación del Proyecto

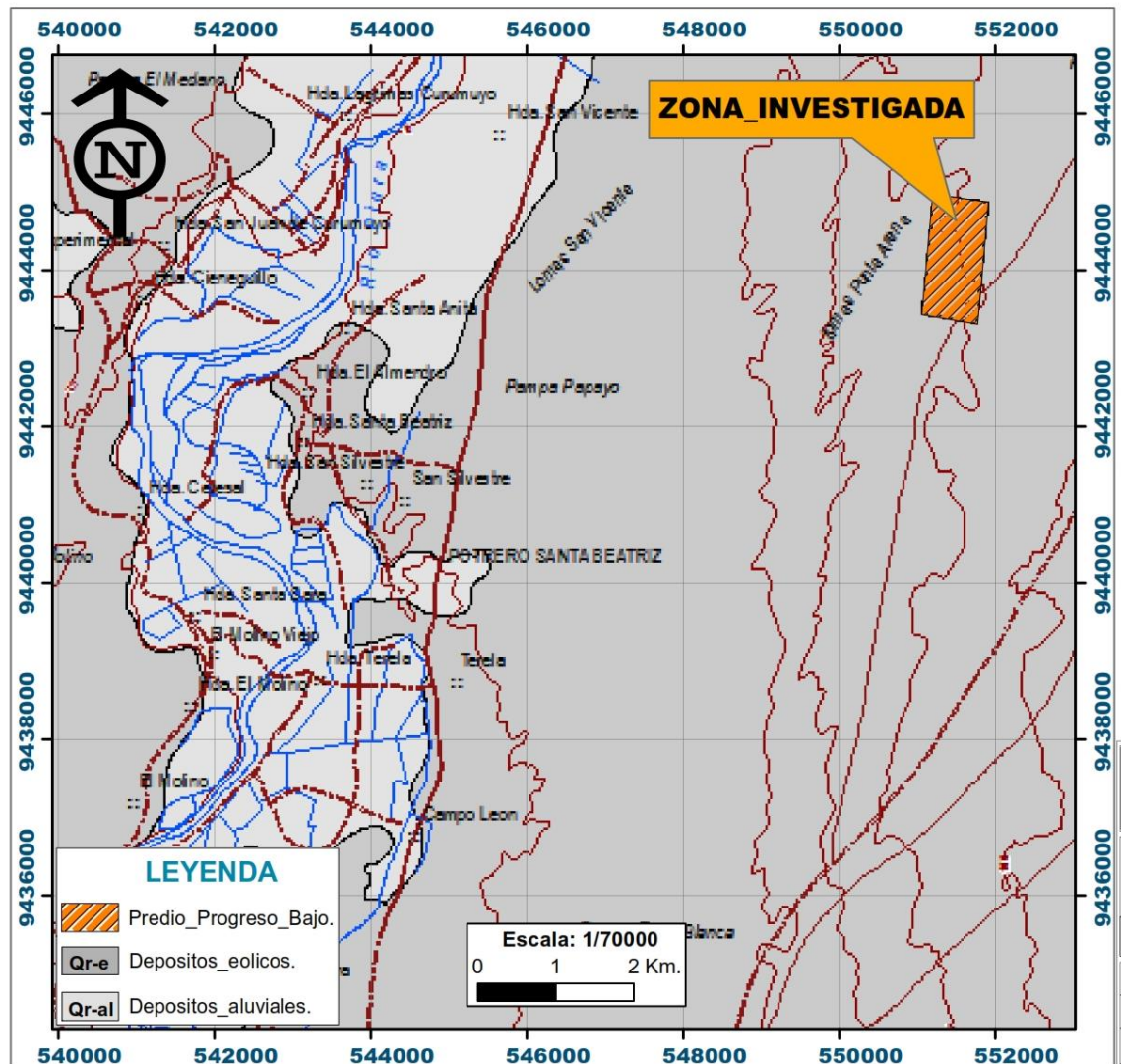


4.3. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOMORFOLOGICAS.

Es importante el reconocimiento de las características geológicas y geomorfológicas permite determinar la naturaleza de los materiales existentes y la distribución de los mismos en la cuenca sedimentaria a la que pertenecen, así mismo reconocer los eventos geodinámicos que han tenido lugar para el resultado del relieve actual en la zona investigada. Estas características condicionan el funcionamiento del complejo acuífero y el desplazamiento de las aguas subterráneas.

El reconocimiento general de la zona de investigación se realizó mediante visitas de campo y mediante la recopilación de información proporcionada por INGEMMET mediante el Boletín N° 054 - Geología - Cuadrángulo de Paita (11a), Piura (11b), Talara (10a), Sullana (10b), Lobitos (9a), Quebrada Seca (9b), Zorritos (8b), Tumbes (8c). Boletín N° 146- Geología del Cuadrángulo de Las Lomas (10-C)

FIGURA N° 14: Mapa Geológico Local



Fuente: Ministerio de Energía y Minas MEN.

4.3.1. Marco Geológico.

En casi toda la Llanura Costanera de la Cuenca Secura son escasos los afloramientos rocosos, pues en su mayor parte están cubiertos por los sedimentos cuaternarios eólicos, pero estudios detallados revelan que por debajo de estos materiales se encuentran la formación Zapallal (Tm-zas) del Terciario mioceno la cual se distribuye ampliamente por debajo de material cuaternario. Seguido de ello se encuentra a mayor profundidad el Volcánico Lancones (Km-vl), Volcánico La Bocana (Km-vb) y el Volcánico Eros (Km-ve) perteneciente a la cuenca vecina del Norte denominada Cuenca Lancones, Además, se reconocen sedimentos fluvio - aluviales asociados al curso del río Piura.

A continuación, se describen las unidades geológicas identificadas de menor a mayor cronológicamente:

a) Sistema cuaternario

Corresponde a la acumulación de sedimentos cuaternarios en forma de cobertura a lo largo de los valles y llanuras inundadas por corrientes fluviales, en este caso del Río Piura. Estos depósitos están constituidos principalmente por conglomerados de diferente naturaleza (cuarcita, arenisca, esquistos, etc.) y granulometría. Los depósitos aluviales pueden clasificarse en recientes y antiguos. En la zona en estudio solo se han identificado depósitos recientes, los cuales se describen a continuación:

Depósitos aluviales recientes (Qr – al)

Están constituyendo el relleno de los actuales cauces, por donde discurren las corrientes fluviales. Son conglomerados y arenas que decrecen en tamaño desde las partes altas hasta la desembocadura donde el predominio es de arenas y limos.

Depósitos eólicos (Qr – e)

Constituyen los depósitos areno - arcillosos y están formando el gran manto mueble que cubre gran parte de la zona en estudio. Estos depósitos se presentan ya sea en forma de mantos propiamente dichos; pudiendo presentarse también en formas de dunas en la parte baja del valle.

Estos depósitos se encuentran a lo largo de ambos márgenes del río.

Los depósitos eólicos carecen de importancia en la hidrogeología del área de estudio.

FIGURA N° 15: Depósitos Eólicos del Cuaternario.



Fuente: Elaboración Propia

b) Sistema Terciario Mioceno

Formación Zapallal (Tm – zas)

Se encuentra por debajo de los sedimentos eólicos, en la zona no se encuentran grandes afloramientos que sobresalgan en la llanura, pero es posible apreciar algunos de sus estratos en el corte casi vertical que ha originado por el discurrir de las aguas del Río Piura (inmediatamente al Sur de las compuertas de la Represa Los Ejidos), está constituida por tres miembros: superior, medio e inferior.

El primero está constituido por una secuencia de conglomerados, lutitas y areniscas. El miembro medio está conformado por areniscas cuarzosas inter estratificadas con lutitas, arcillas y areniscas calcáreas, y el miembro inferior por horizontes arcillosos, areniscas calcáreas y areniscas conglomeradas.

Desde el punto de vista hidrogeológico esta formación y en especial su miembro superior, es de suma importancia ya que constituye el reservorio acuífero del Medio y Bajo Piura.

c) **Sistema Cretáceo Medio.**

❖ **Volcánico Lancones (Km-vl).**

La formación está constituida principalmente por aglomerados volcánicos reabajados, con clastos angulosos a subredondeados de composición basáltica a andesítica. Algunos horizontes presentan bloques redondeados de hasta 1.20 m de diámetro, y dentro de uno de estos bloques se pueden observar líticos angulosos de 10 cm

❖ **Volcánico La Bocana (Km-vb).**

Litológicamente, la Formación La Bocana se ha dividido en tres miembros:

Miembro inferior. - Está constituido por basaltos, andesitas basálticas, andesitas y riolitas con algunos niveles volcanoclásticos.

Miembro medio. - Conformado por calizas lodolíticas y margas grises oscuras laminadas, cortadas por diques y sills andesíticos, que se intercalan con arenas calcáreas grises verdosas, tobas y coladas de andesitas basálticas con disyunción columnar y caras de formas poligonales.

Miembro superior. - Está formado por aglomerados volcánicos masivos andesíticos y andesita basáltica con grandes litoclastos angulosos a subredondeados y con algunas intercalaciones de sedimentos calcáreos impuros (Valdivia y Torres, 1995).

❖ **Volcánico Eros (Km-ve).**

La Formación El Ereo se caracteriza por la distinguida monotonía del volcánico porfirítico, con cuarzo y feldespato.

Presenta pocas brechas y lavas coherentes, y parece formar un cuerpo subvolcánico aislado y cortado por rocas de composición granodiorítica.

Está constituida, principalmente, por una secuencia volcánica porfírica con fenocristales de plagioclasa, del rango de 1 mm y > 10 mm (en promedio de 4 a 5 mm). Los flujos de lavas amigdalares, generalmente, no son comunes, aunque se observan localmente brechas volcanoclásticas en cuyos clastos a veces se observan restos de lavas amigdalares. Los volcanoclásticos en esta formación tienen la característica de no estar estratificados, son matriz soportados, subangulares a subredondeados. También, se observa la presencia de cenizas y tufos, posiblemente, reabajadas cerca al contacto superior de la formación.

La secuencia también se caracteriza por la completa ausencia de rocas volcánicas félsicas y sedimentarias.

4.3.2. Marco Estructural.

Los rasgos estructurales más importantes en el área de estudio son los plegamientos y las fallas, los que evidencian haber soportado por lo menos cuatro fases de deformación, desde el paleozoico hasta la última fase tectónica. Los pliegues, así como la esquistosidad de los mismos, tienen una dirección NO-SE. En la actualidad, las estructuras que se observan en los afloramientos son el resultado del último tectonismo que actuó en la zona.

Debido a la cobertura cuaternaria de los sedimentos terciarios, no pueden observarse en el campo las estructuras existentes; solo pueden apreciarse pequeños plegamientos y algunas fallas de poca importancia en los escasos afloramientos existentes.

4.3.3. Marco Geomorfológico.

Desde el punto de vista geomorfológico, la zona en estudio presenta 04 unidades geomorfológicas:

a) Llanura o planicie costera (LI)

Se encuentra comprendida entre la Cordillera de la Costa y los contrafuertes de la Cordillera Andina Occidental, como una faja paralela a esta cordillera. Poseen un relieve plano a plano ondulado; cuya pendiente es menor a 5%, siendo más ondulado en el tramo entre Piura y Morropón.

Esta unidad se caracteriza por tener extensas superficies cubiertas por depósitos eólicos. Son afectadas por erosión de laderas a manera de surcos y cárcavas; por donde, de manera excepcional discurren flujos de lodo. Localmente, en el área en cuestión se han reconocido áreas casi planas y algunas lomadas de muy poca elevación que continúan en los predios aledaños.

b) Llanura aluvial o cause inundable (Lli)

Son superficies bajas, adyacentes a los fondos de valles principales y el mismo curso fluvial. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuestos de material no consolidado (arenas, limos, etc.) removibles. Sus mejores exposiciones se encuentran en las márgenes del río Piura. Estas áreas inundables son ocupadas por terrenos de cultivo, están sujetas a inundaciones fluviales periódicas y erosión fluvial en sus márgenes o terrazas bajas.

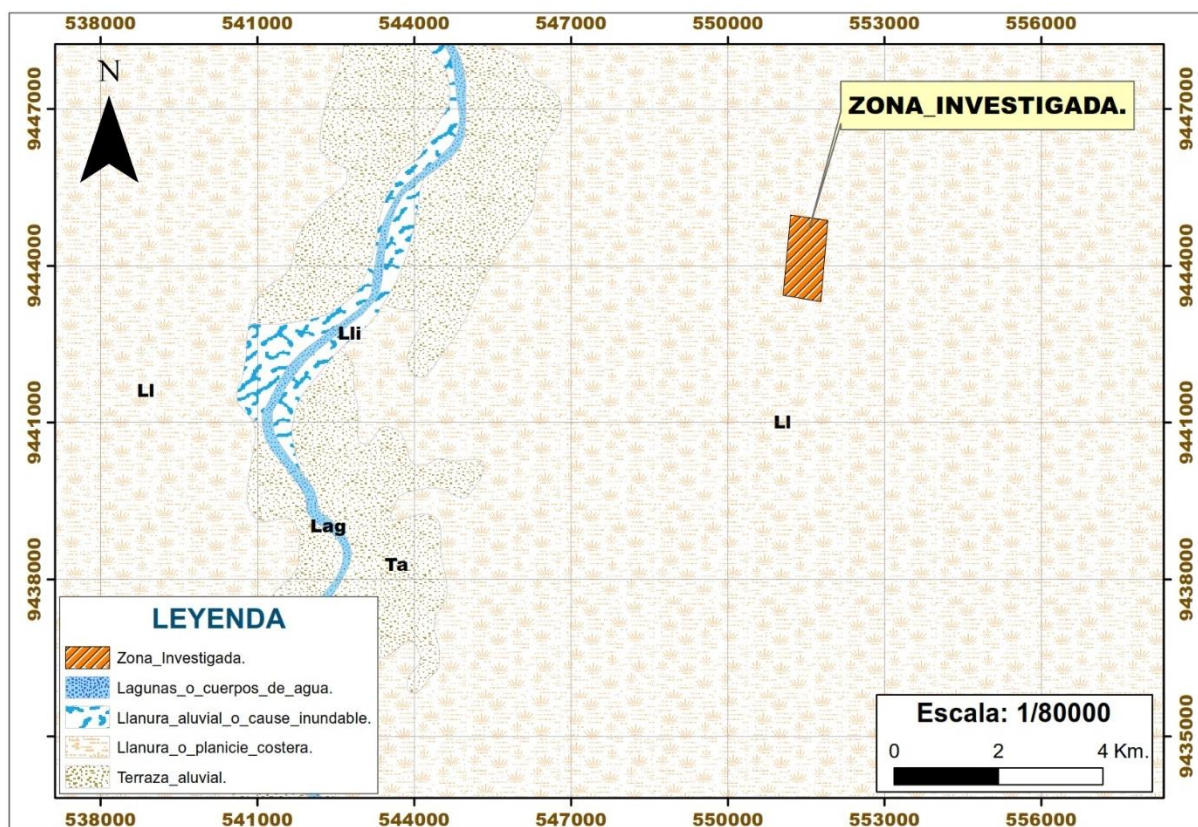
c) Terraza aluvial (Ta)

Son porciones de terreno que se encuentran dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río; a mayor altura representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido divididos por las corrientes como consecuencia de la profundización del valle. Se tienen terrazas aluviales muy desarrolladas en el valle del Río Piura. Están sujetas a procesos de erosión fluvial.

d) Lagunas o cuerpos de Agua (Lag)

Representa los actuales causes de río Piura por donde discurren las aguas, formando pequeñas lagunas o embalses de agua durante épocas de estiaje.

FIGURA N° 16: Mapa Geomorfológico.

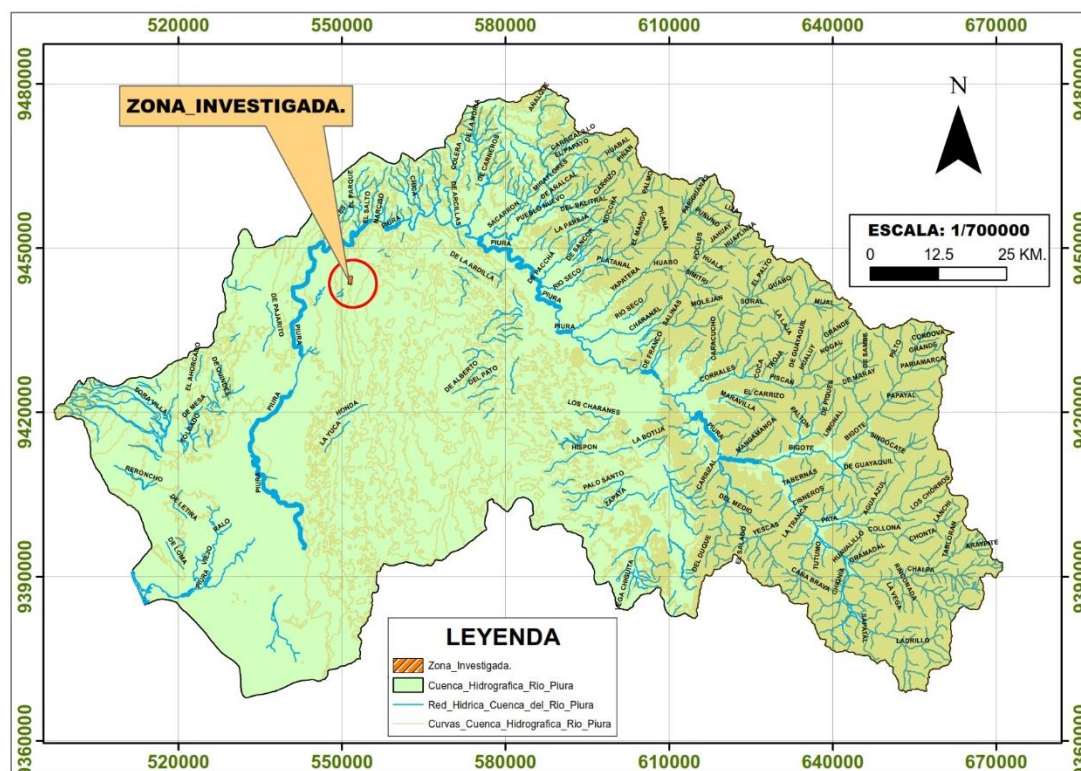


Fuente: Ministerio del Ambiente MINAM

4.4. CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE LA CUENCA.

La zona de investigación se emplaza dentro de la cuenca hidrográfica del río Piura. Esta cuenca se sitúa en la Región Piura, al norte del Perú, entre los 0 y 3600 m.s.n.m., geográficamente, se halla situada entre las siguientes coordenadas: 99° 33' - 80° 58' longitud Oeste y 04°46' - 05°43', latitud Sur.

FIGURA N° 17: Ubicación del Proyecto en la Cuenca Hidrográfica del río Piura.



Fuente: Autoridad Nacional del Agua ANA.

El río Piura pertenece al sistema hidrográfico de la Gran Cuenca del Pacífico, tiene su origen a 3600 m.s.n.m. en las inmediaciones del cerro Parathón, inicialmente toma el nombre de quebrada de Parathón hasta unirse con la quebrada Cashapite, para dar origen a la quebrada Chalpa, que al unirse con la llamada Overal, dan origen al río Huarmaca. Este río mantiene su nombre hasta la localidad de Serrán; por su margen izquierda recibe el aporte del Chignia o San Martín. La unión del río Huarmaca con el Pusalca y el Pata dan origen al río Canchaque, que recorre con dirección Nor – Oeste hasta la confluencia con el río Bigote. A partir de la unión de los ríos Canchaque y Bigote se denomina río Piura, que recorre con dirección Nor – Oeste hasta la localidad de Tambogrande, desde este punto hasta Curumuy recorre en dirección Oeste, para luego recorrer en dirección Sur – Oeste hasta la localidad de Catacaos donde se desvía de su cauce natural en dirección sur hasta la depresión que conforma la Laguna Ramón de 12 Km² de espejo de agua denominada “La Niña”, esta laguna se conecta por el lado norte con la Laguna Ñapique de 8 Km² de espejo de agua. Cuando las dos lagunas se llenan durante el fenómeno de El Niño, el agua rebasa y se dirige hacia el oeste mediante un cauce natural,

el cual conecta con la Laguna Las Salinas de 150 Km² de espejo de agua, la que se conecta finalmente con el Estuario de Virrilá para desembocar en el Océano Pacífico.

El río Piura tiene una longitud aproximada de 295 Km. Presenta una pendiente suave en un tramo de 248 Km. Entre la desembocadura y la conexión con el río Huarmaca, las pendientes varían de la siguiente manera:

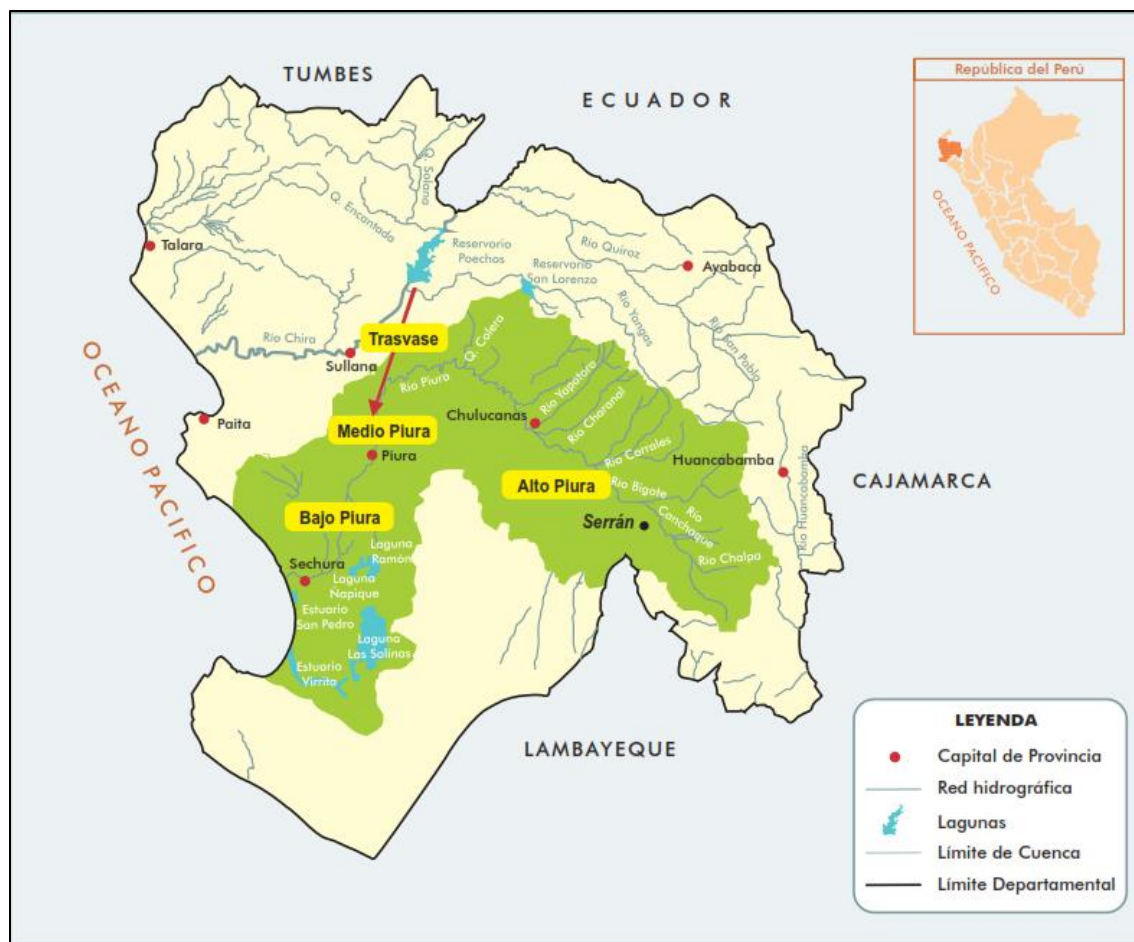
- Laguna Ramón – Ciudad de Piura 0.03%
- Piura - Tambogrande 0.08%
- Tambogrande - Malacasí 0.13%
- Malacasí y confluencia Huarmaca – Chignia 0.35%
- El tramo final de 32 Km. tiene una pendiente promedio de 7.8%

Los tributarios del río Piura aportan una masa anual de agua en el orden de los 650 millones de metros cúbicos (MMC) promedio al año, la que en casi su totalidad es usada para fines de riego en el valle del Alto Piura. A esto hay que agregar la explotación de aguas subterráneas, estimada en unos 68 MMC/año.

El caudal propio del río Piura se agota antes de llegar a la parte baja de la cuenca, pero recibe una nueva inyección de aguas provenientes de la represa Poechos (del río Chira), a través del canal de derivación Daniel Escobar, construido en la década de los 70. Con estas aguas se riegan aproximadamente 40 000 hectáreas agrícolas en el Medio y Bajo Piura. Debe recalarse que, en este sentido, el Proyecto Especial Chira-Piura ha permitido una profunda transformación del paisaje, de la infraestructura productiva y de la vida de los habitantes en este territorio.

El poco e irregular aporte hídrico propio del río Piura cambia en extremo cada vez que ocurre el fenómeno de El Niño, para convertirse en un torrente peligroso.

FIGURA N° 18: cuenca Hidrográfica del Río Piura



Fuente: Gobierno Regional de Piura – ANA – GTZ/PDRS.2009 / Folleto II Aspectos Meteorológicos, Proceso de Elaboración del Plan de Gestión de la Cuenca del Río Piura.

La cuenca del río Piura en el aspecto hidrogeológico tiene características particulares; por la forma de circulación de aguas, fuentes hídricas, efectos y contenido de los mismos.

Las condiciones variables de sedimentación en el tiempo y en el espacio, han permitido conformar acuíferos con grava, arena, limo y arcilla, determinando estratos permeables e impermeables como es el caso del Bajo Piura. La evaluación del agua subterránea desarrollada por ATA Asesores Asociados S.A., separa a la Cuenca Alta y la Cuenca Baja del Río Piura.

Cuenca Alta. - Considerando para el estudio el tramo del valle entre Tambogrande y Serrán, tiene una superficie de 542.7 Km², el reservorio

acuífero está constituido por sedimentos fluvio-aluviales no consolidados que han sido depositados por el río Piura, como por sus afluentes: Huarmaca, Pusmalca, Bigote, Charanal, Corral del Medio, Quebrada de Las Damas, Yapatera y Río Sancor.

La potencia del reservorio acuífero varía entre 46 y 153 m, la napa freática varía de 0.5 a 46 m de profundidad, fluctuando desde 0.5 a 11.0 m en los años húmedos.

Los pozos inventariados alcanzan a 1515, de los cuales 641 son tubulares, 752 son a tajo abierto y 122 son pozos mixtos.

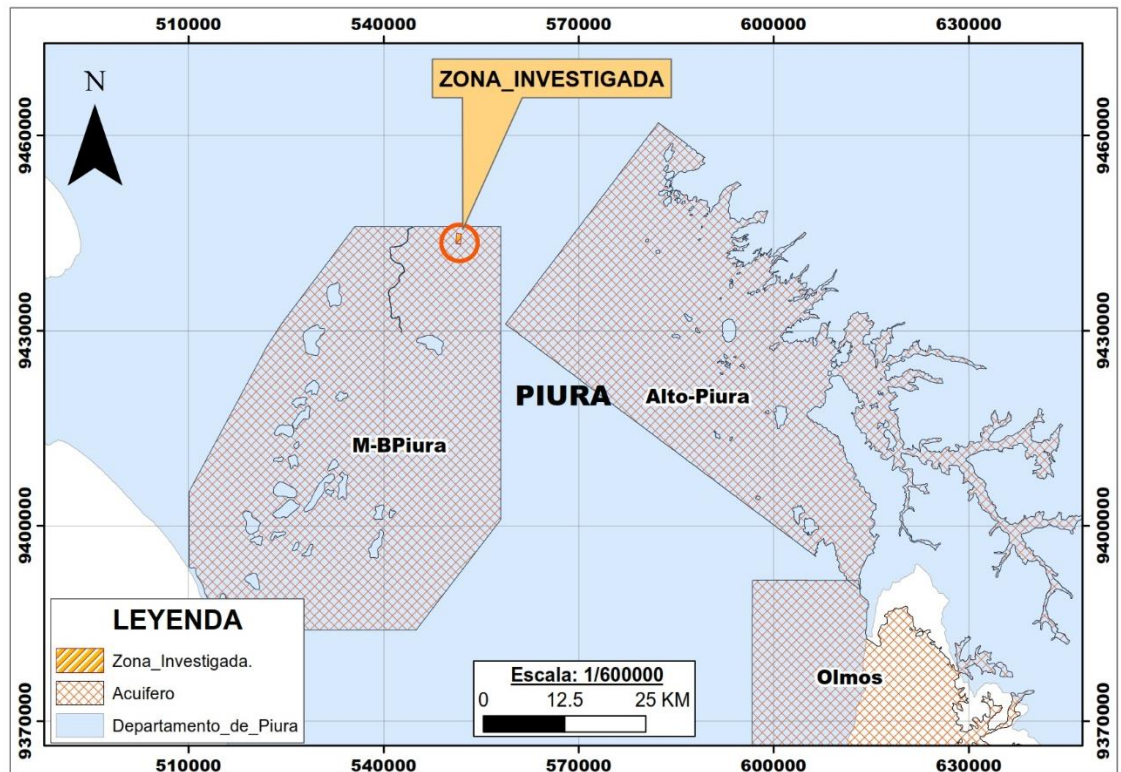
La explotación del agua subterránea actual es del orden de 60 MMC/ año, la reserva aprovechable del acuífero del Alto Piura estimado por el método geológico es de 187 MMC/ año, si se descuenta el volumen actualmente explotable, quedaría un potencial de agua subterránea de 127 MMC/ año.

Cuenca Media y Baja. - El acuífero del Medio y Bajo Piura se caracteriza por tener 2 formaciones, una denominada acuífero libre, donde predominan los estratos arcillosos, arenas de grano fino y excepcionalmente estratos areno-gravosos. El otro es acuífero confinado limitado por la formación geológica zapallal, el techo de este acuífero se encuentra a una profundidad cercana a los 100 m.

La napa freática de la parte Baja es superficial entre 0 y 2.0 m en una extensión de 355 Km². La napa freática del acuífero confinado se localiza entre 70 y 150 m de profundidad.

Se han identificado en el Bajo Piura 63 pozos tubulares que alcanzan profundidades entre 100 y 200 m, en Catacaos se han identificado 7 pozos a tajo abierto que no sobrepasan los 10m de profundidad. Para el abastecimiento de agua de la ciudad de Piura, la empresa SEDA PIURA está explotando 24 pozos tubulares alcanzando un volumen de 26,7 MMC/ año. La reserva explotable del acuífero del Bajo Piura de acuerdo a los estudios de SANIPLAN, AMSA y GKW CONSULT es de 56 MMC/año.

FIGURA N° 19: Acuífero del Medio y Bajo Piura.



Fuente: Autoridad Nacional del Agua ANA.

4.5. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA.

Para la investigación hidrogeológica es indispensable conocer la situación actual de las fuentes de agua subterránea; para ello se ha elaborado un inventario, con la finalidad de determinar la cantidad actual de las fuentes de agua subterránea, su estado y explotación; así como sus niveles estáticos y caudales.

En el siguiente cuadro se observa el inventario realizado para la presente investigación, el mismo que ha sido recopilado con información del inventario del año 2017 realizado por la AAA Jequetepeque – Zarumilla. Se ubicaron 22 fuentes de agua subterránea.

CUADRO N° 5: Inventario de Fuentes de Agua Subterránea

Pozo Tubular.	IRHS	NOMBRE DEL POZO	COTA DEL TERRENO (m.s.n.n)	COORDENADAS UTM WGS84		PERFORACION				EQUIPO DE BOMBEO	EQUIPO DE BOMBEO						NIVELES DE AGUA Y CAUDAL						CALIDAD DEL AGUA		REGIMEN DE APROVECHAMIENTO						
											MOTOR			BOMBA			FECHA	P.R. SUELO	N. ESTATICO		CAUDAL (L/S)	N. DINAMICO			C.E (mmhos/c m)	PH	ESTADO DEL POZO	USO	REGIMEN DE EXPLOTACION		
				ESTE (m)	NORTE (m)	TIPO	PROF. INICIAL (m)	PROF. ACTUAL (m)	DIAMETRO (m)		MARCA	TIPO	HP	MARCA	TIPO	DIAMETRO			PROF. (m)	m.s.n.m		PROF. (m)	m.s.n.m	h/d					d/s	m/a	
PT-1	004	CASERIO TERELA	41.00	544942	9438884	T	32.00	-	0.15	Con Equipo	-	-	-	-	P	1.5"	20/10/17	-	-	-	-			-	-	No Utilizable	-	-	-	-	-
PT-2	005	CASERIO TERELA	42.00	545114	9438589	T	32.00	-	0.15	Sin Equipo	-	-	-	-	-	-	20/10/17	-	-	-	-	-	-	-	-	No Utilizable	-	-	-	-	-
PT-3	034	CASERIO TERELA	44.00	545589	9438706	T	32.00	-	0.15	Sin Equipo	-	-	-	-	-	-	20/10/17	-	-	-	-	-	-	-	-	No Utilizable	-	-	-	-	-
PT-4	035	EX HACIENDA EL PAPAYO	41.00	543278	9440682	T	160.00	-	0.41	Sin Equipo	-	-	-	-	-	-	20/10/17	-	-	-	-	-	-	-	-	No Utilizable	-	-	-	-	-
PT-5	039	EX HACIENDA EL PAPAYO	46.00	543657	9443315	T	172.00	-	0.38	Sin Equipo	-	-	-	-	-	-	20/10/17	-	-	-	-	-	-	-	-	No Utilizable	-	-	-	-	-
PT-6	044	ARANTXA S.A.	38.00	544586	9438679	T	120.00	-	0.38	Con Equipo	Hidrostal	E	50.00	Hidrostal	TV	8"	20/10/17	0.50	12.50	26.00	45.00	-	-	1.20	6.9	Utilizado	I	16.00	7.00	12.00	943488.00
PT-7	047	P-2 - PEDREGAL	43.00	544849	9438001	T	142.00	-	0.64	Con Equipo	Franklin	E	-	Flowserve	S	8"	19/10/17	0.20	20.10	23.10	80.00	-	-	2.37	7.93	Utilizado	A	6.00	2.00	12.00	179712.00
PT-8	048	P-1 - PEDREGAL	44.00	545292	9436394	T	140.00	-	0.64	Con Equipo	Franklin	E	125.00	Flowserve	S	8"	19/10/17	0.70	25.35	19.35	50.00	-	-	2.51	8.01	Utilizado	A	8.00	6.00	12.00	449280.00
PT-9	049	P-4 - PEDREGAL	43.00	545328	9438060	T	145.00	-	0.64	Con Equipo	Franklin	E	150.00	Flowserve	S	8"	19/10/17	0.65	21.35	22.30	-	-	-	-	-	Utilizable	A	-	-	-	-
PT-10	054	P-5 - PEDREGAL	42.00	544808	9436979	T	144.40	144.40	0.52	Con Equipo	Franklin	E	125.00	Flowserve	S	8"	19/10/17	0.50	21.20	21.30	65.00	-	-	-	-	Utilizado	A	18.00	7.00	12.00	1533168.00
PT-11	055	P-9 - PEDREGAL	36.00	543617	9436822	T	130.00	-	0.52	Con Equipo	Franklin	E	-	Flowserve	S	8"	19/10/17	0.60	21.52	15.08	60.00	-	-	-	-	Utilizado	A	4.00	2.00	6.00	89856.00
PT-12	056	P-8 - PEDREGAL	38.00	544469	9437392	T	159.00	125.00	0.64	Con Equipo	Flowserve-Pleuger	E	177	Flowserv e-Pleuger	S	8"	19/10/17	0.20	21.50	16.70	90.00	-	-	1.59	8.00	Utilizado	A	20.00	7.00	12.00	2358720.00
PT-13	057	P-6 - PEDREGAL	38.00	544307	9437927	T	136.00	-	0.64	Sin Equipo	-	-	-	-	-	-	19/10/17	0.28	18.28	20.00	-	-	-	-	-	Utilizable	A	-	-	-	-
PT-14	058	P-7 - PEDREGAL	39.00	544137	9438457	T	134.00	-	0.52	Sin Equipo	-	-	-	-	-	-	19/10/17	0.35	15.95	23.40	-	-	-	-	-	Utilizable	A	-	-	-	-
PT-15	064	RAPEL 2	45.00	543697	9442214	T	150.00	-	0.53	Con Equipo	Perkins	D	150	BJ	S	8"	18/10/17	0.40	10.55	34.85	60.00	28.16	17.24	4.76	7.99	Utilizado	A	16.00	6.00	12.00	1078272.00
PT-16	065	RAPEL 3	46.00	543742	9442625	T	107.00	-	0.53	Con Equipo	Perkins	D	150	BJ	S	8"	18/10/17	0.40	12.20	34.20	90.00	-	-	3.95	7.08	Utilizado	A	16.00	6.00	12.00	1617408.00
PT-17	066	RAPEL 1	47.00	544097	9442374	T	132.00	-	0.53	Con Equipo	Hidrostal	E	75	Hidrostal	TV	6"	18/10/17	0.30	15.60	31.70	38.00	-	-	3.77	6.73	Utilizado	A	8.00	7.00	1.00	398361.60
PT-18	S/N	POZO N° 01 - CAMPO C	52.00	546252	9440734	T	120.00	80.00	0.48	Con Equipo	Hidrostal	E	50	Hidrostal	TV	8"	18/10/17	0.30	17.20	35.10	50.00	-	-	2.40	7.21	Utilizado	A	18.00	7.00	12.00	1179360.00
PT-19	S/N	POZO N° 02 - CAMPO C	53.00	546776	9440591	T	-	-	0.48	Con Equipo	Hidrostal	E	50	Hidrostal	TV	8"	18/10/17	0.40	15.80	37.60	-	-	-	4.85	7.25	Utilizable	A	-	-	-	-
PT-20	S/N	POZO N° 03 - CAMPO C	46.00	545168	9440885	T	52.00	46.80	0.48	Con Equipo	Hidrostal	E	50	Hidrostal	TV	9 3/4"	18/10/17	0.40	16.85	29.55	-	-	-	5.40	7.00	Utilizable	A	-	-	-	-
PT-21	S/N	POZO EL ALGARROBO	61.00	548224	9443457	T	160.00	70.00	0.53	Sin Equipo	-	-	-	-	-	-	18/10/17	1.00	14.80	47.20	-	-	-	-	-	Utilizable	A	-	-	-	-
PT-22	S/N	P-12 - EL PEDREGAL	41.00	544784	9436438	T	150.00	150.00	0.64	Con Equipo	Pleuger	E	177	Pleuger	S	8"	19/10/17	0.20	25.36	15.84	65.00	49.04	-7.84	1.90	7.40	Utilizado	A	20.00	7.00	12.00	1703520.00
T = Tubular D = Diesel E = Electrico. TV: Turbina Vertical. S: Sumergible. P: Piston. U= Utilizado N/U= No Utilizado E/P= En Perforacion. A = Agrícola I = Industrial																															

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. ANA

4.6. EL ACUIFERO.

La zona en estudio se encuadra dentro de la Cuenca Media y Baja del Río Piura caracterizada Hidrogeológicamente por presentar dos reservorios acuíferos, el primer acuífero Libre conformado por arenas de grano medio con presencia de gravas de edades recientes en el tiempo geológico, el Segundo acuífero confinado pertenece al acuífero Zapallal, el cual se considera uno de los acuíferos más importantes a nivel nacional. Este acuífero fue descubierto entre los años 1963 – 1967, por Arce Geofísicos, consultores expertos en Prospección Geofísica e Hidrogeología.

La formación zapallal, Aunque su litología es mayormente arcillosa con capas ricas en fosfatos, existe un horizonte de arena limpia que contiene agua dulce recargada en los bordes orientales de la cuenca.

Agua salina satura toda la formación, pero el estrato de arena ha sido lavado y el agua dulce fluye hacia el oeste, hasta alcanzar un límite N-S donde un cambio de facies ha causado la desaparición del estrato de arena. A partir de allí es total la saturación con agua salada y con salmuera. La aplicación de 281 sondeos eléctricos en ocho estudios (1963 a 2006), da información adecuada para trazar los límites de agua dulce-salada-salmuera, así como para determinar profundidades de perforación.

El acuífero Zapallal abastece de agua subterránea a todo el valle del Medio y Bajo Piura, para uso agrario, poblacional, minero, etc. Desde su descubrimiento hasta la actualidad la explotación del acuífero ha aumentado considerablemente, poniendo en riesgo la explotación en algunas zonas.

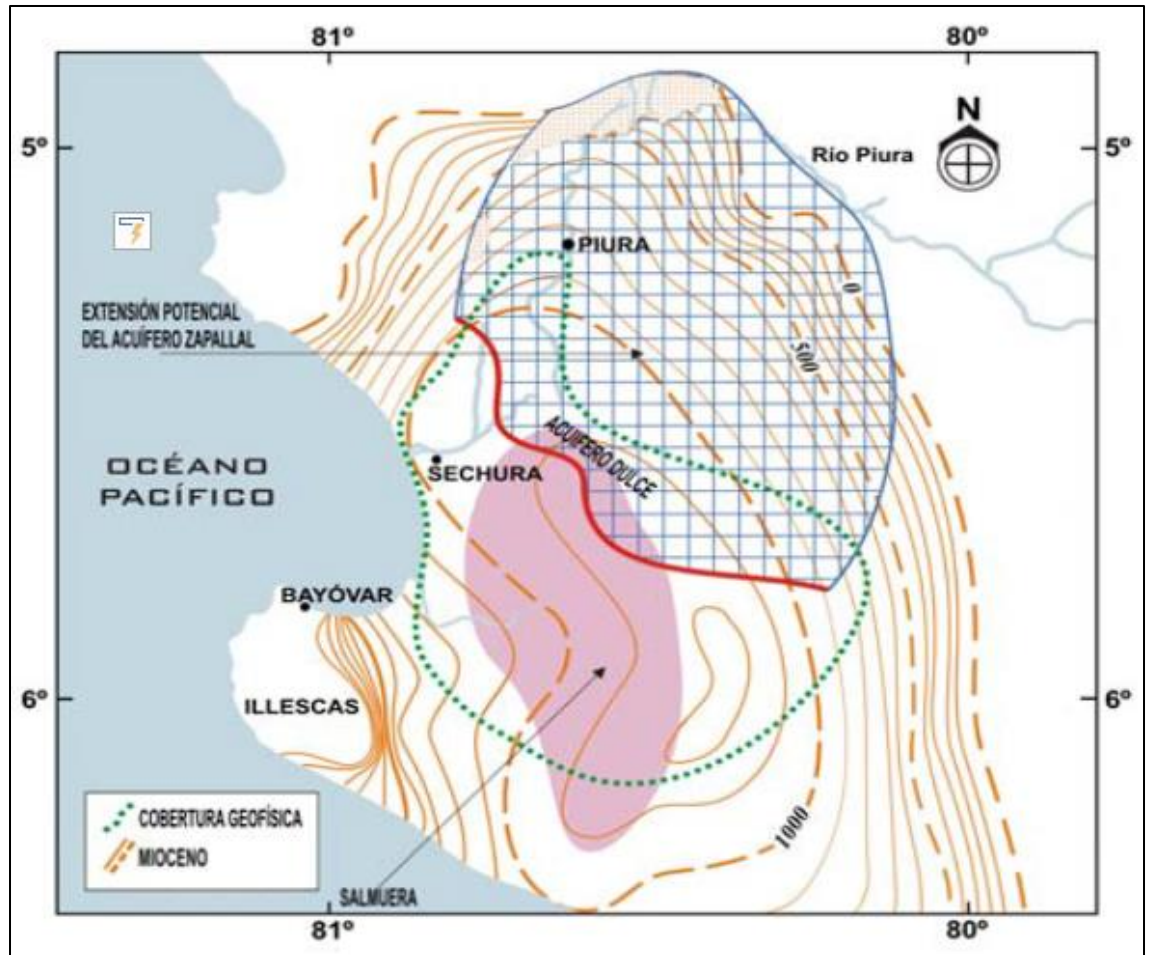
4.6.1. Ubicación y Geometría del Acuífero.

a) Ubicación.

El acuífero Zapallal se encuentra ubicado en el norte del Perú, se extiende entre los 5° S y 6.5° S y entre los 80° O y 81° O, abarcando más de 10,000 Km², siendo casi en su totalidad la parte media y baja del valle del río Piura.

En la siguiente figura se puede observar la cuenca del Mioceno que incluye a la formación Zapallal, el reservorio de salmueras, la cobertura geofísica, el límite occidental dulce-salado determinado con los sondeos eléctricos y la probable extensión del acuífero Zapallal.

FIGURA N° 20: Extensión del Acuífero Zapallal



Fuente: Arce Geofísicos, consultores expertos en Prospección Geofísica e Hidrogeología.

b) Geometría del Acuífero.

Formas y Límites. -

El acuífero superficialmente tiene forma de un rectángulo irregular y se encuentra delimitado por afloramientos rocosos representado por los cerros, Illescas, Chalaco, Tablazo, Vice y Chusis.

Dimensión. -

El acuífero entre los sectores Sechura y Parachique tiene un ancho promedio de 45 Km. el mismo que se va incrementando progresivamente hasta alcanzar una longitud de 75 Km., entre los sectores de Catacaos – Loma Vegón, y finalmente hacia el Océano Pacífico se ensancha hasta 120 Km.

4.6.2. La Napa Freática.

La napa freática en un acuífero es una superficie propia comprobable a la de una superficie topográfica, con depresiones, ondulaciones, cambios de dirección y pendiente, etc.

La medición de los niveles en los pozos se ha ejecutado con una sonda eléctrica, y se ha efectuado cuando los pozos se encuentran en estado de equilibrio (apagados); y uniendo cotas y profundidades de igual valor, obteniendo las curvas de isoprofundidad e hidroisohipsas respectivamente. El análisis de estos planos con los registros de la napa freática permitió inferir en lo siguiente:

a) Isoprofundidad

La profundidad de los niveles estáticos en la zona de estudio varía desde los 15.08 m hasta 37.60 m en relación a los pozos inventariados para el presente informe de investigación.

b) Hidroisohipsas

Las hidroisohipsas permiten obtener la dirección del flujo subterráneo, habiéndose obtenido en este caso una dirección principal del agua subterránea de Noreste a Suroeste; sin embargo, existe otras direcciones que tiende a ser de Noroeste a Sureste. Las cotas de los niveles freáticos varían desde 10.55 hasta 25.36 m.s.n.m.

CUADRO N° 6: Profundidad y cota del Nivel Freático.

POZO TUBULAR	IRHS	NOMBRE DEL POZO	TIPO	COORDENADAS UTM WGS84		COTA DEL TERRENO (m.s.n.n)	HIDROISOHIPSAS (m.s.n.m)	ISOPROFUNDIDAD (m)
				ESTE (m)	NORTE (m)			
PT-1	004	CASERIO TERELA	T	544942	9438884	41.00	-	-
PT-2	005	CASERIO TERELA	T	545114	9438589	42.00	-	-
PT-3	034	CASERIO TERELA	T	545589	9438706	44.00	-	-
PT-4	035	EX HACIENDA EL PAPAYO	T	543278	9440682	41.00	-	-
PT-5	039	EX HACIENDA EL PAPAYO	T	543657	9443315	46.00	-	-
PT-6	044	ARANTXA S.A.	T	544586	9438679	38.00	12.50	26.00
PT-7	047	P-2 - PEDREGAL	T	544849	9438001	43.00	20.10	23.10
PT-8	048	P-1 - PEDREGAL	T	545292	9436394	44.00	25.35	19.35
PT-9	049	P-4 - PEDREGAL	T	545328	9438060	43.00	21.35	22.30
PT-10	054	P-5 - PEDREGAL	T	544808	9436979	42.00	21.20	21.30
PT-11	055	P-9 - PEDREGAL	T	543617	9436822	36.00	21.52	15.08
PT-12	056	P-8 - PEDREGAL	T	544469	9437392	38.00	21.50	16.70
PT-13	057	P-6 - PEDREGAL	T	544307	9437927	38.00	18.28	20.00
PT-14	058	P-7 - PEDREGAL	T	544137	9438457	39.00	15.95	23.40
PT-15	064	RAPEL 2	T	543697	9442214	45.00	10.55	34.85
PT-16	065	RAPEL 3	T	543742	9442625	46.00	12.20	34.20
PT-17	066	RAPEL 1	T	544097	9442374	47.00	15.60	31.70
PT-18	S/N	POZO N° 01 - CAMPO C	T	546252	9440734	52.00	17.20	35.10
PT-19	S/N	POZO N° 02 - CAMPO C	T	546776	9440591	53.00	15.80	37.60
PT-20	S/N	POZO N° 03 - CAMPO C	T	545168	9440885	46.00	16.85	29.55
PT-21	S/N	POZO EL ALGARROBO	T	548224	9443457	61.00	14.80	47.20
PT-22	S/N	P-12 - EL PEDREGAL	T	544784	9436438	41.00	25.36	15.84

Fuente: Inventario de Pozos y fuentes de Agua Subterránea ANA-2017.

4.7. PROSPECCION GEOFISICA.

Para el presente estudio se han ejecutado 10 SEVs determinar para la ubicación más favorable de 02 pozos tubulares. La profundidad de exploración ha sido hasta los 200.00m. Se han confeccionado 2 secciones geoeléctricas, en base a la ubicación de los SEVs, estas secciones geoeléctricas A-A' y B- B', se representan en las figuras 04 y 05. Las secciones geoeléctricas resumen en forma gráfica toda la investigación, en ellas aparecen los Sondajes Eléctricos Verticales, las diferentes capas u horizontes del subsuelo con sus respectivos espesores y sus valores de resistividad eléctrica, así

como el fondo del subsuelo impermeable que constituyen el basamento hidrogeológico.

4.7.1. Ubicación de Sondajes Electrico Verticales.

La ubicación de los 10 SEV's ejecutados en la presente investigación se representan en el siguiente cuadro de coordenadas UTM WGS 84, así mismo se puede apreciar su distribución en la siguiente figura.

CUADRO N° 7: Coordenadas UTM WGS84 de los SEV'S

N° SEV	Coordenadas UTM WGS 84		Cota (m.s.n.m.)
	Este (m)	Norte (m)	
1	551124	9443605	116.00
2	551148	9443894	117.00
3	551173	9444189	119.00
4	551204	9444505	119.00
5	551252	9444799	121.00
6	551782	9444742	125.00
7	551759	9444450	124.00
8	551727	9444145	126.00
9	551702	9443845	123.00
10	551674	9443544	125.00

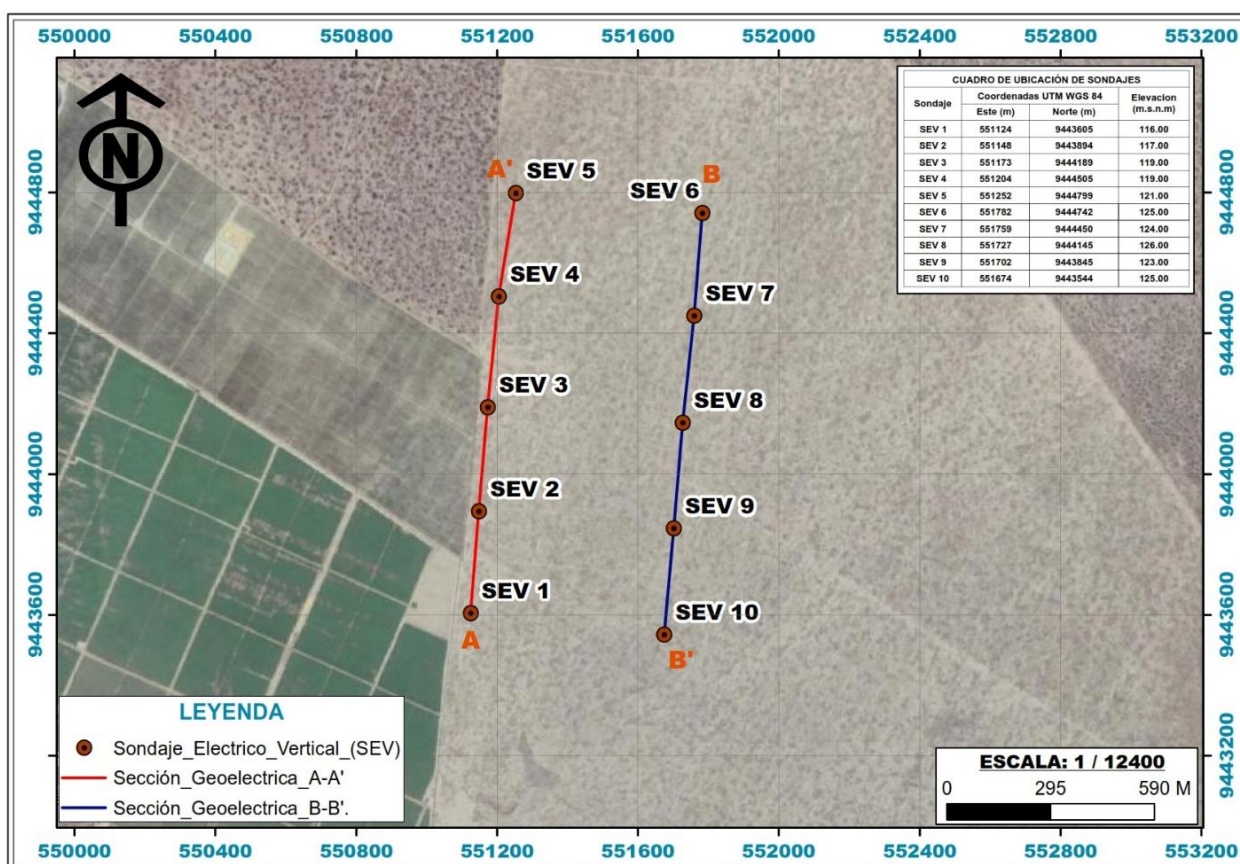
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 21: Ejecución de Sondaje electrico vertical



Fuente: Elaboración Propia.

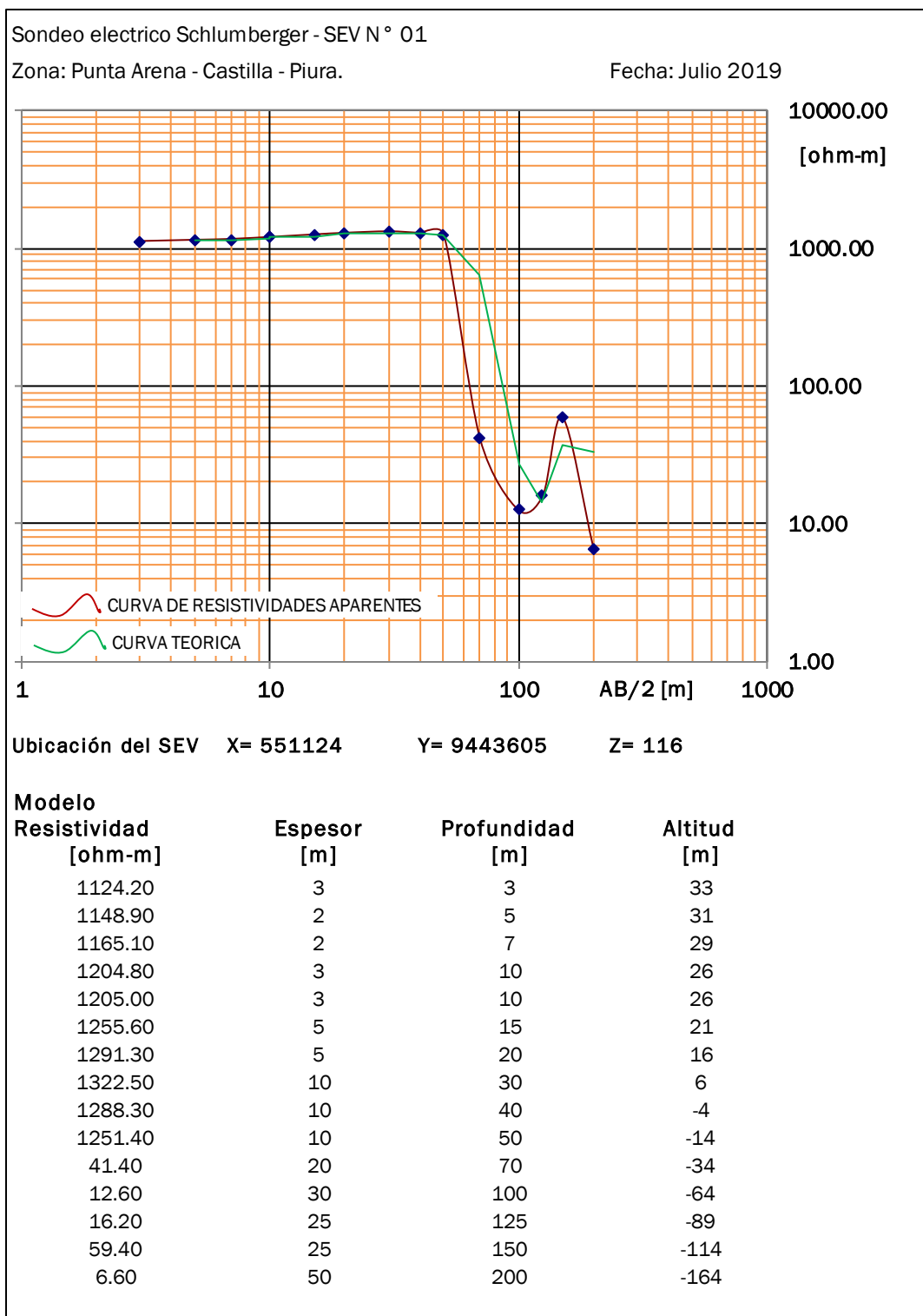
FIGURA N° 22: Ubicación de Sondajes Eléctricos Verticales



Fuente: Elaboración Propia.

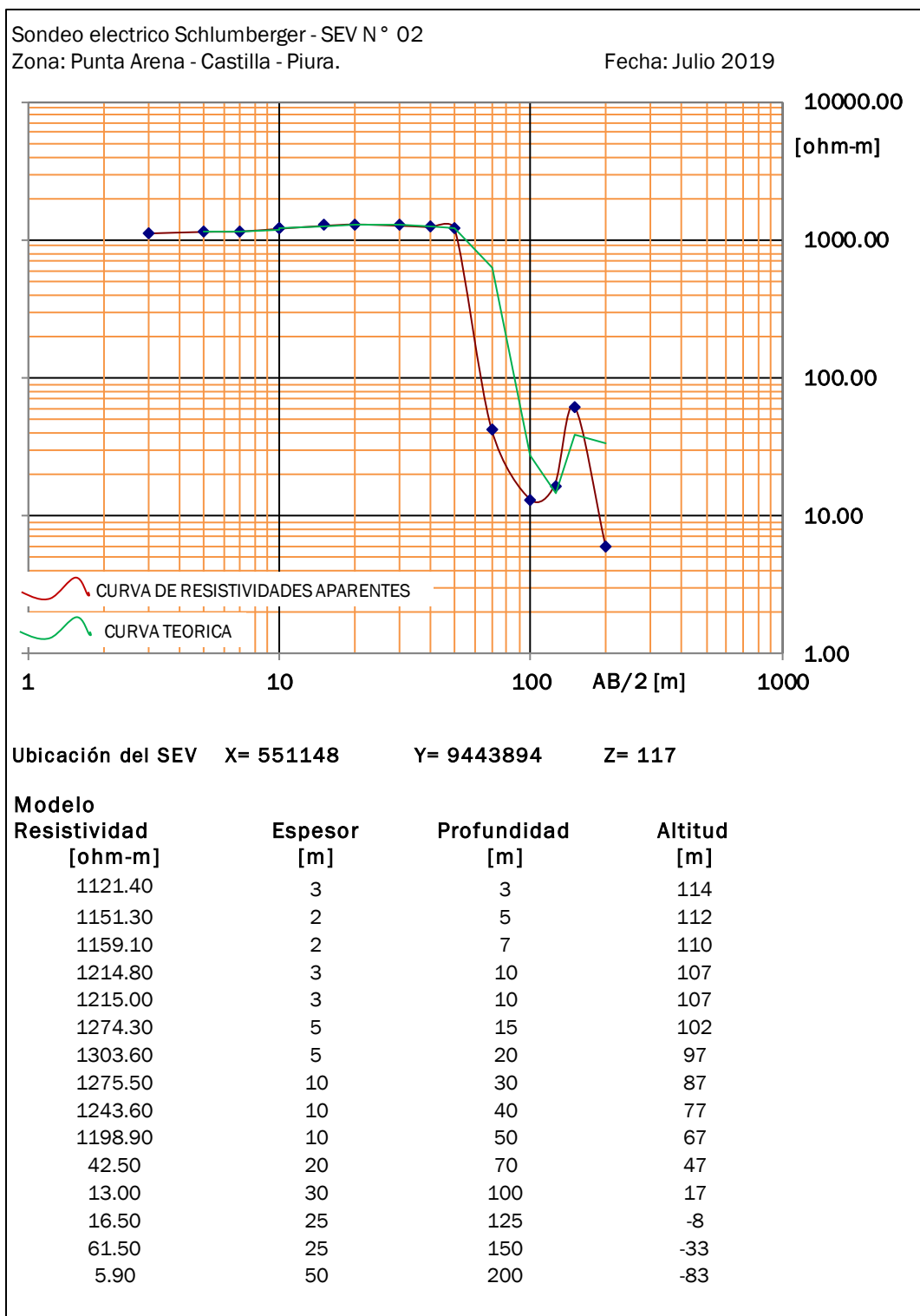
4.7.2. Curvas de Resistividad Aparente.

FIGURA N° 23: Curva de Resistividad SEV-1



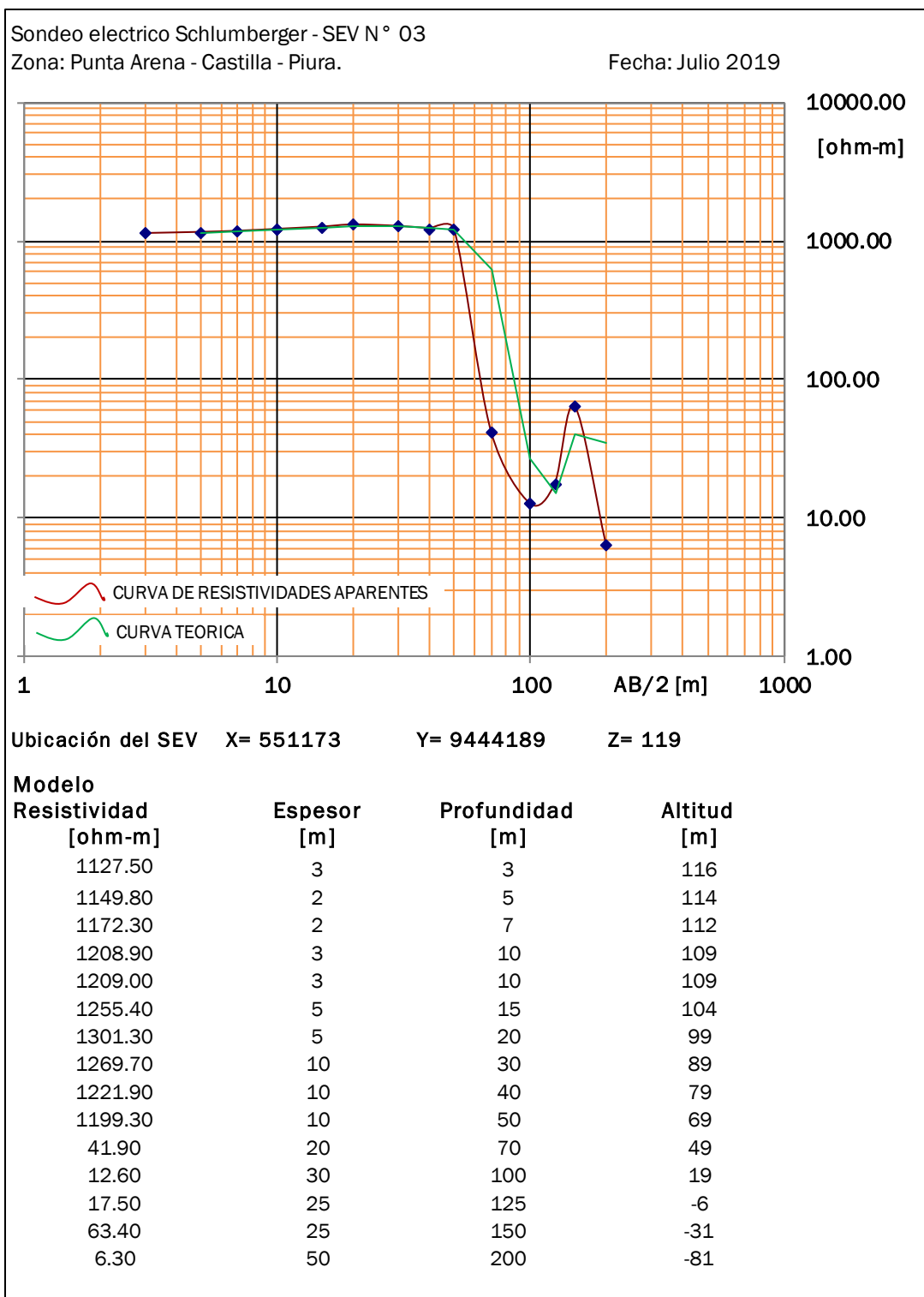
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 24: Curva de Resistividad SEV-2



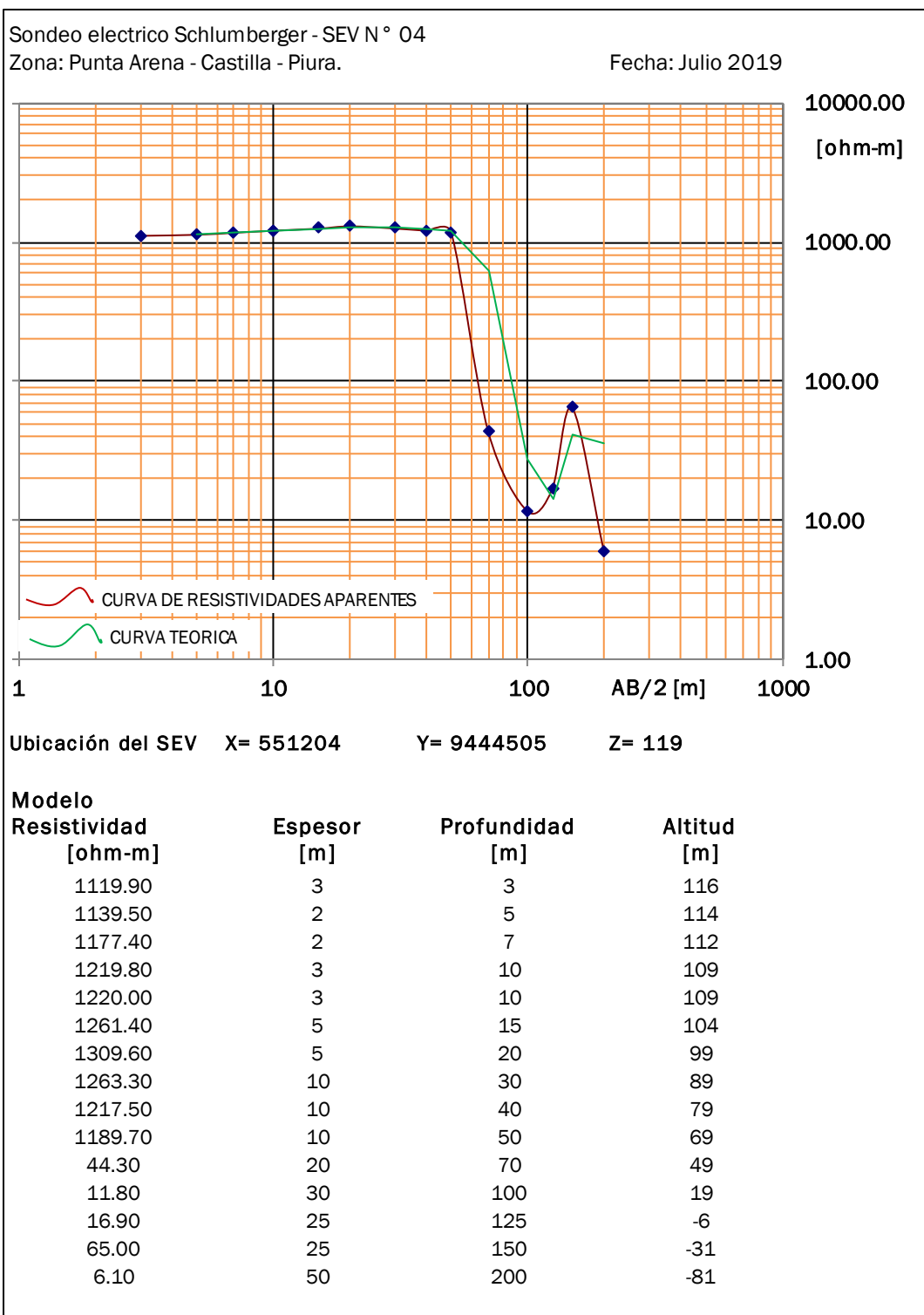
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 25: Curva de Resistividad SEV-3



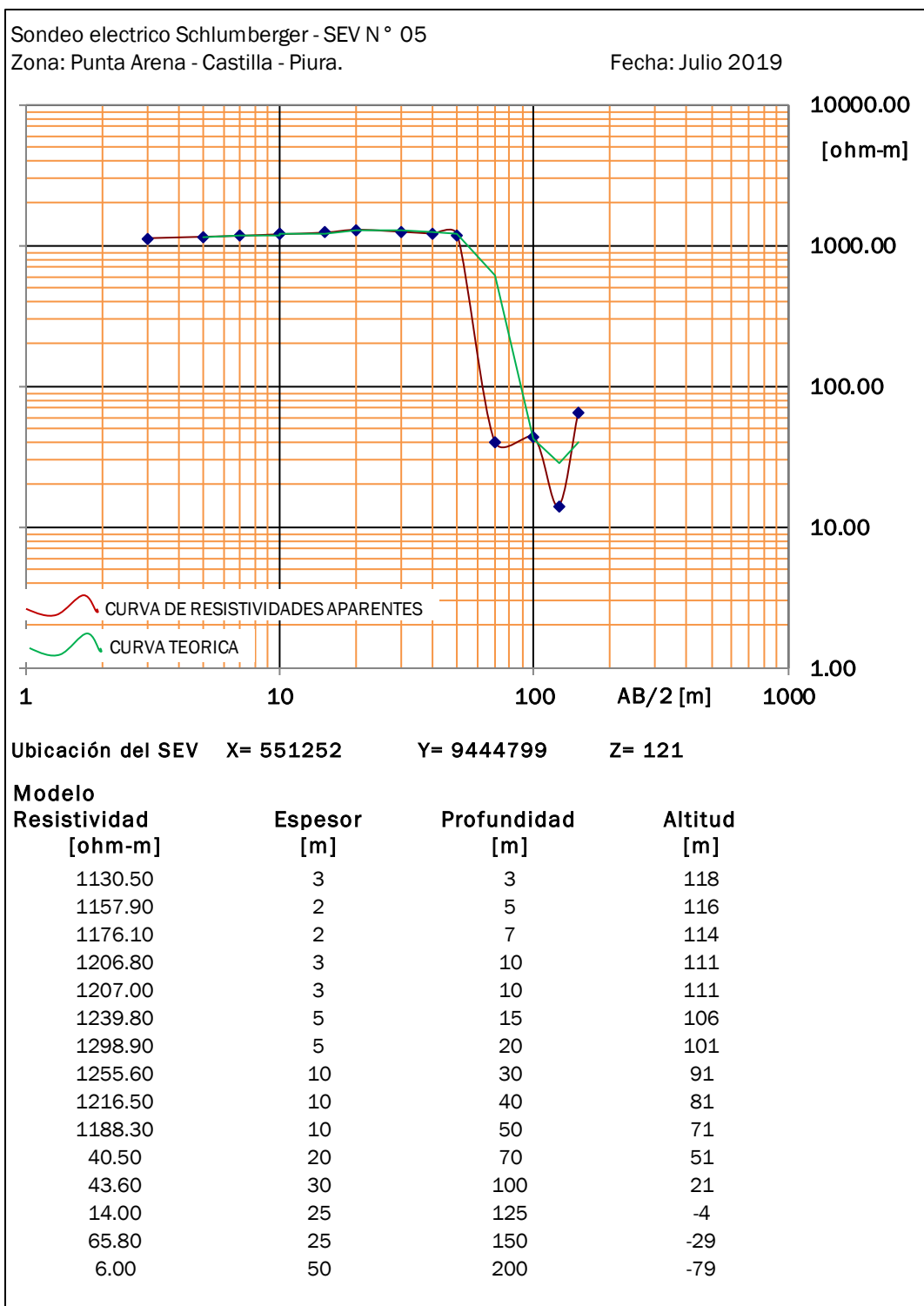
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 26: Curva de Resistividad SEV-4



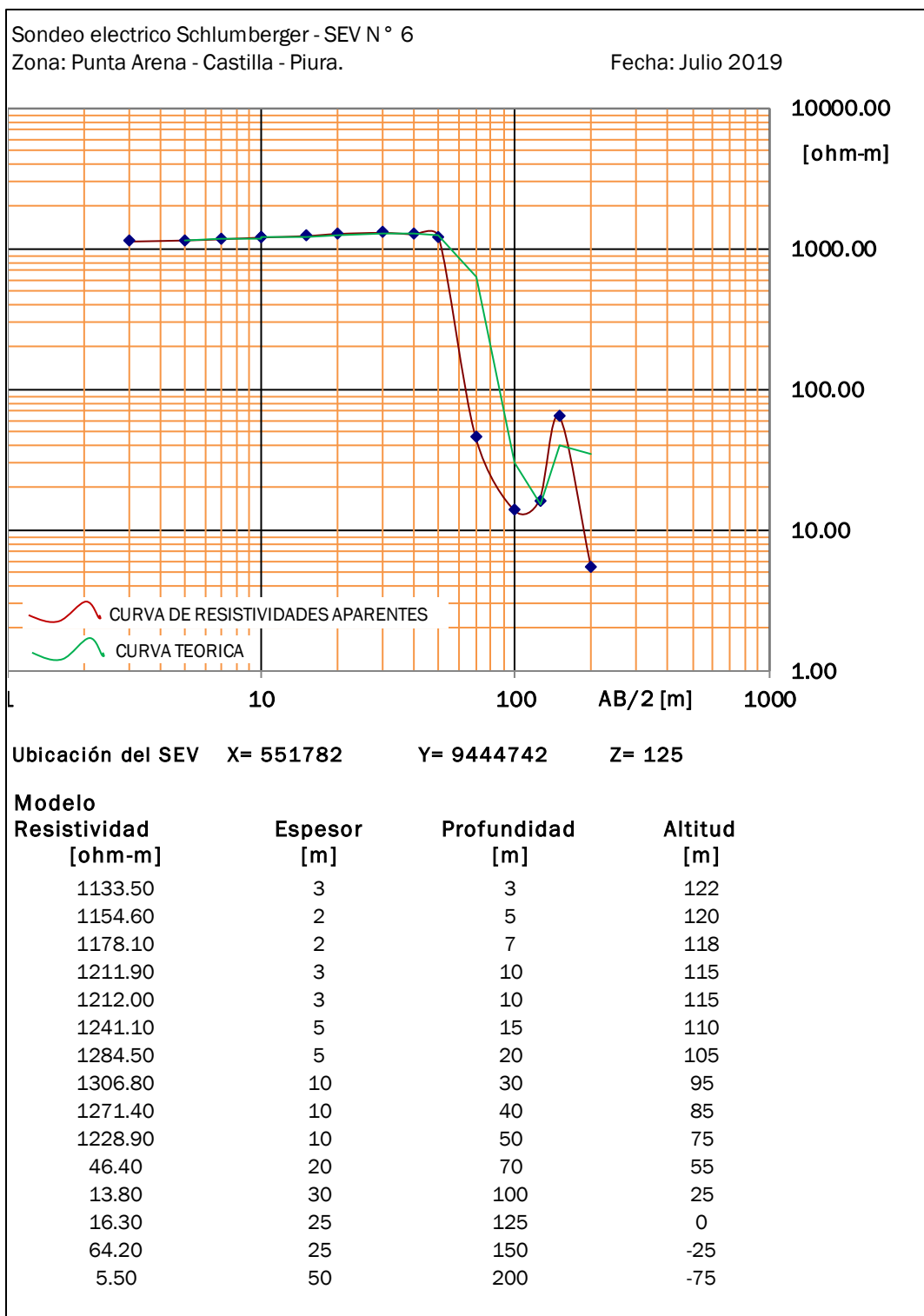
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 27: Curva de Resistividad SEV-5



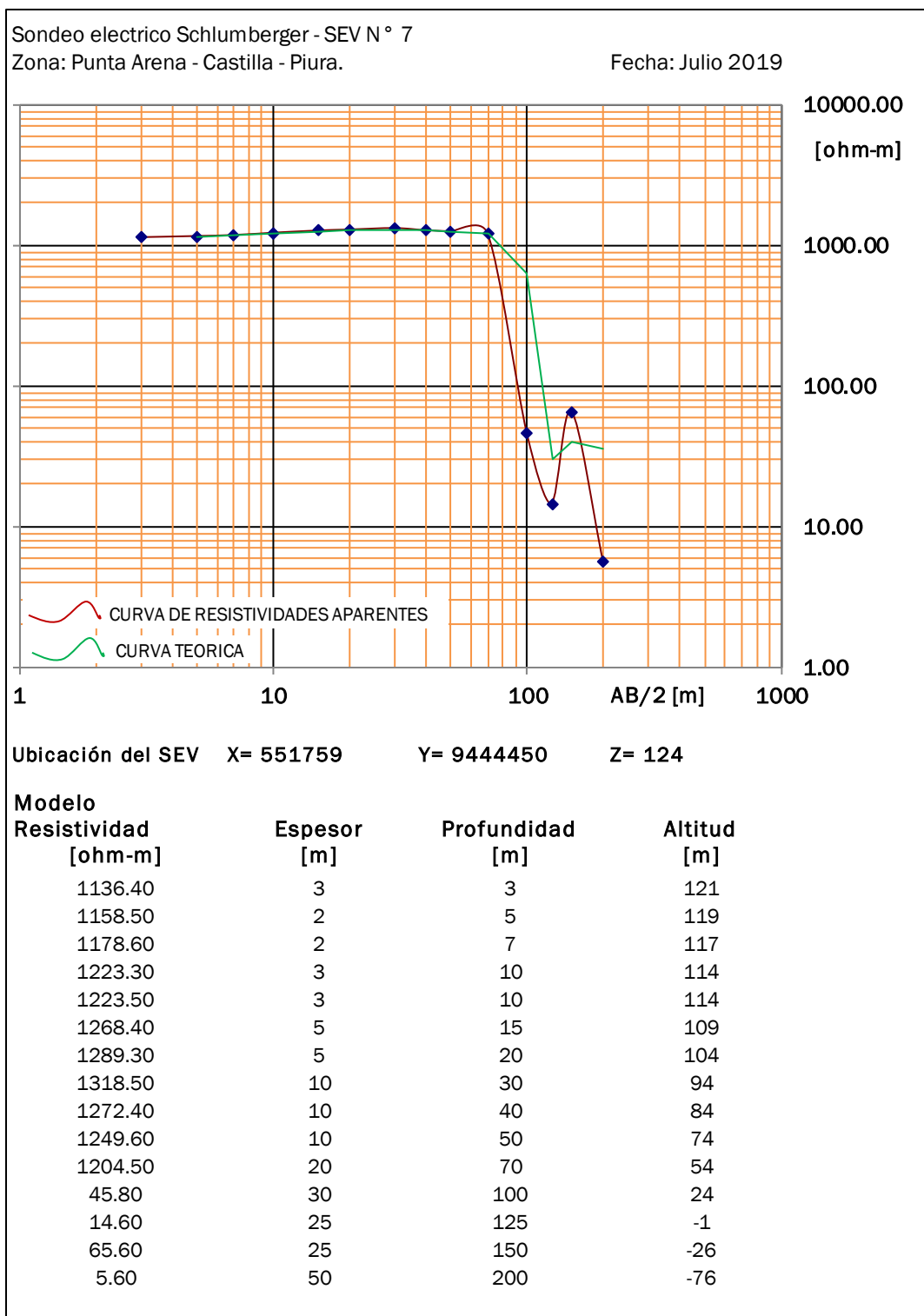
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 28: Curva de Resistividad SEV-6



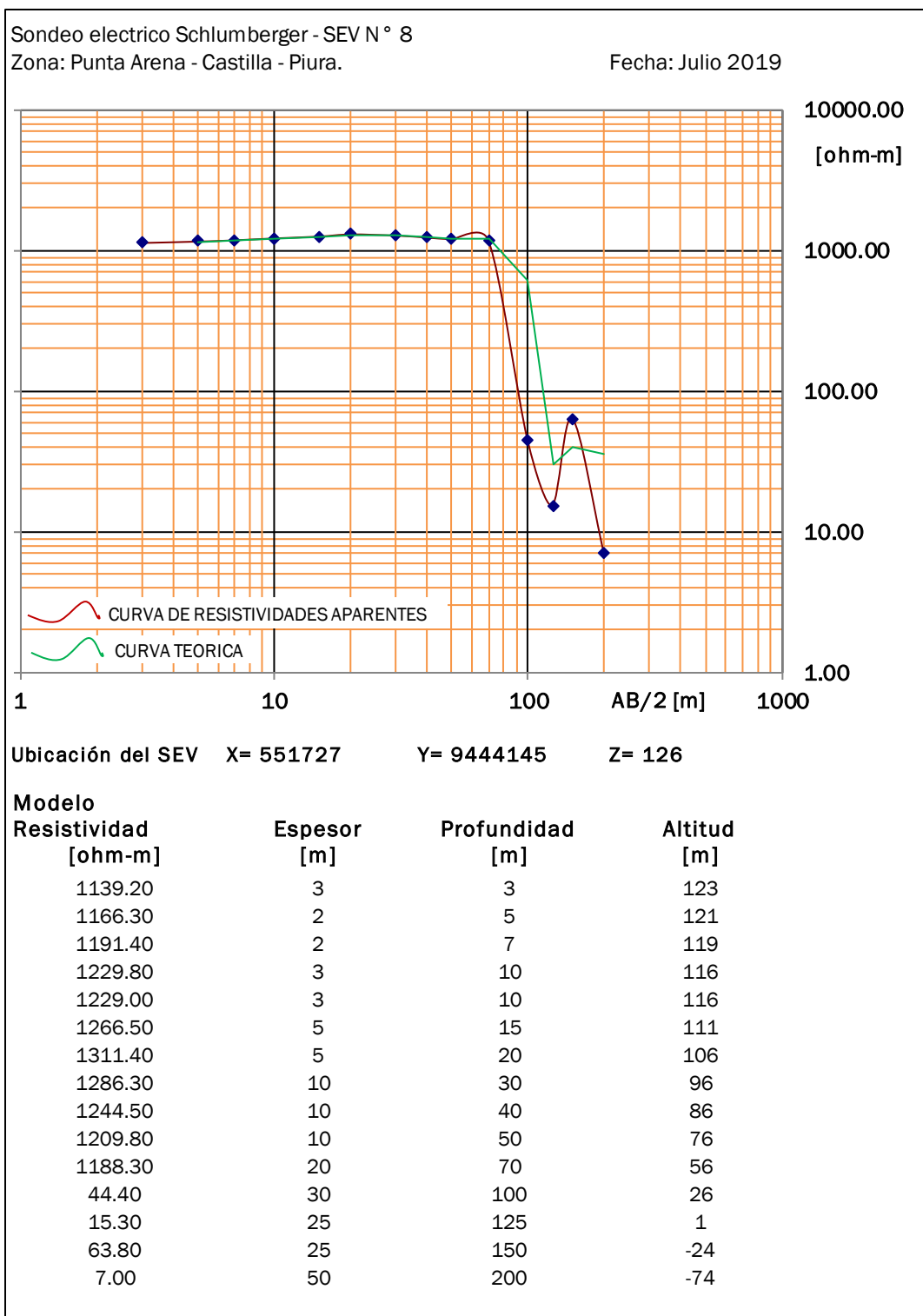
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 29: Curva de Resistividad SEV-7



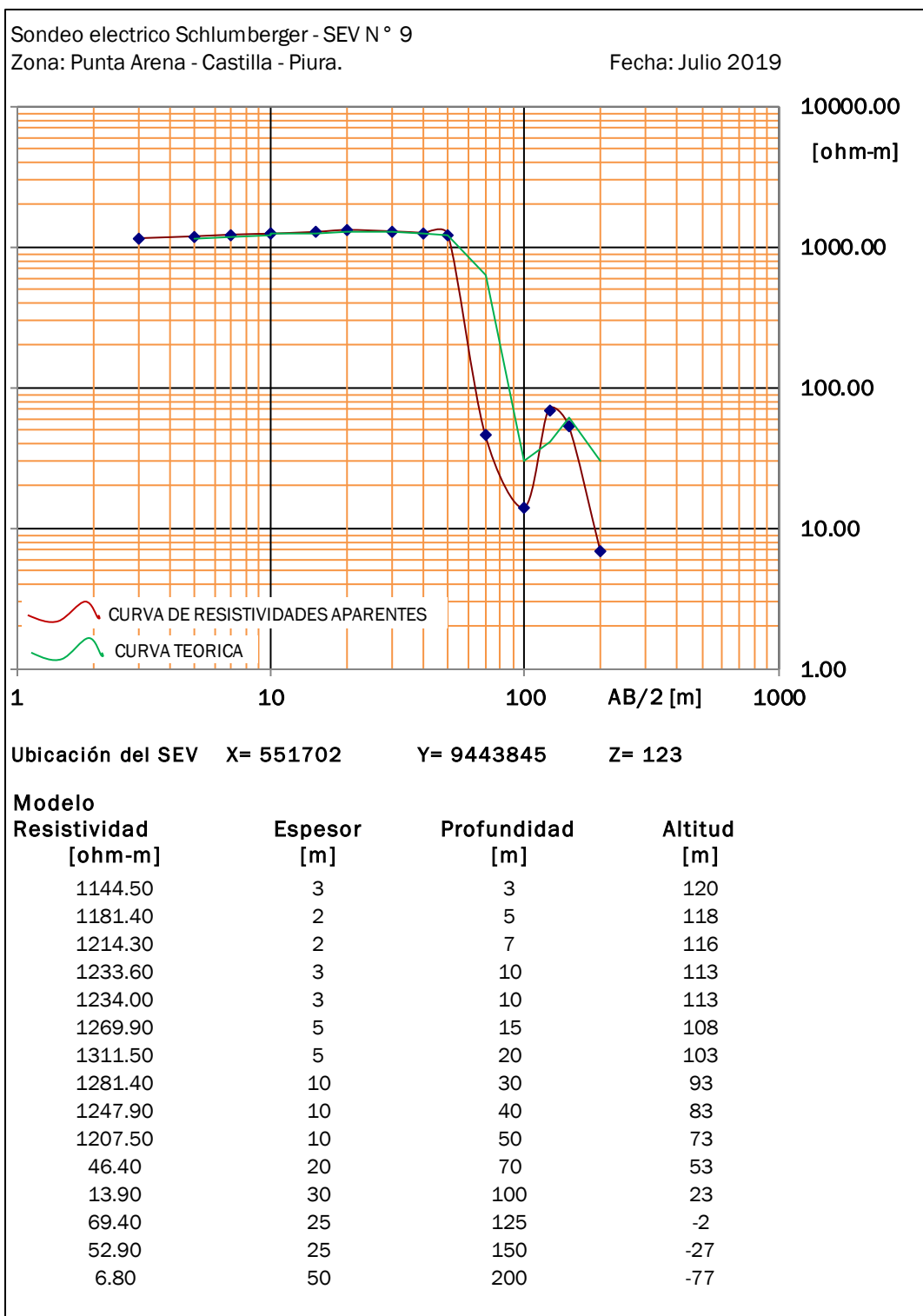
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 30: Curva de Resistividad SEV-8



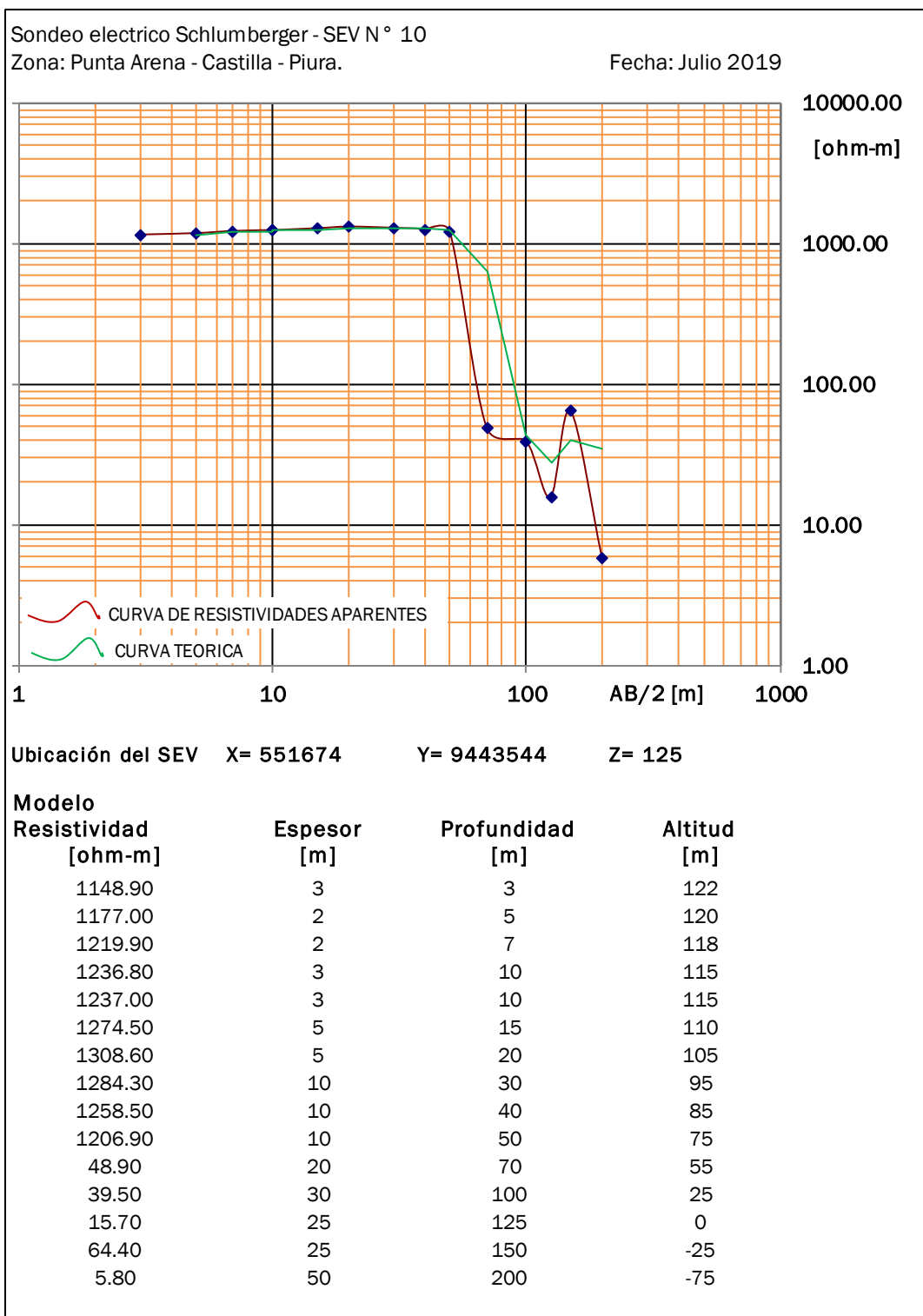
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 31: Curva de Resistividad SEV-9



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 32: Curva de Resistividad SEV-10



Fuente: Elaboración Propia.

4.8. HIDRODINAMICA SUBTERRANEA.

En la investigación hidrogeológica, así como del planeamiento del recurso hídrico subterráneo es necesario cuantificar la capacidad de almacenar y de transmitir el agua en un acuífero, siendo para ello necesario definir las características hidráulicas del mismo. Estas características son determinadas por el valor de ciertas constantes denominadas parámetros hidrogeológicos, los cuales se han obtenido realizando pruebas de bombeos en pozos cercanos a la zona de estudio.

4.8.1. Prueba de Bombeo.

Se han ejecutado 02 pruebas de bombeo, en el Pozo N° 12 – El Pedregal y Pozo N° 02 – RAPEL. El primero ubicado en el caserío Terela y el segundo en El Papayo. Las pruebas se realizaron durante 48 horas con caudales entre 10 – 50 l/s. La interpretación de resultados ha sido elaborada según el método de Theis – Jacob en régimen transitorio con caudales constantes.

4.8.2. Parámetros Hidrogeológicos.

a) Transmisividad y Conductividad Hidráulica o Permeabilidad.

En el siguiente cuadro, se indican los resultados calculados a partir de las pruebas de bombeo.

CUADRO N° 8: Parámetros Hidrogeológicos

POZO	FASE DE DESCENSO		FASE DE RECUPERACION		PROMEDIO	
	T (m ² /día)	K (m/día)	T (m ² /día)	K (m/día)	T (m ² /día)	K (m/día)
N° 02 - RAPEL	176.66	1.65	260.18	2.43	218.42	2.04
P-12 - EL PEDREGAL	201.5	3.05	187.35	2.84	194.43	2.95

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, se obtenido que los valores de transmisividad están entre 100 a 500 m²/día, con caudales entre 10 a 50 l/s. Así, para los valores de la permeabilidad varían entre 1 y 10 m/día, presentando una permeabilidad media, clasificando al acuífero como bueno.

b) Coeficiente de Almacenamiento (S).

en la zona de investigación no se han encontrado pozos de observación; por lo que se han tomado los valores que se encuentran en el “Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle del Medio y Bajo Piura” (2004) en el cual se ha encontrado un coeficiente de almacenamiento igual a **S = 0.0012**

4.8.3. Radio de Influencia.

En el siguiente cuadro se muestra los radios de influencia calculados mediante la fórmula de no equilibrio, de la aproximación semilogarítmica de Theis-Jacob.

CUADRO N° 9: Radio de Influencia

TIEMPO DE BOMBEO (Horas)	TIEMPO DE BOMBEO (Día)	S	POZO N° 02 RAPEL		POZO P-12 - EL PEDREGAL	
			T	Ra	T	Ra
1	0.042	0.0012	218.420	130.629	194.340	123.219
2	0.083	0.0012	218.420	184.738	194.340	174.257
4	0.167	0.0012	218.420	261.259	194.340	246.437
6	0.250	0.0012	218.420	319.976	194.340	301.823
8	0.333	0.0012	218.420	369.476	194.340	348.515
10	0.417	0.0012	218.420	413.087	194.340	389.651
12	0.500	0.0012	218.420	452.514	194.340	426.842
14	0.583	0.0012	218.420	488.771	194.340	461.042
16	0.667	0.0012	218.420	522.518	194.340	492.874
18	0.750	0.0012	218.420	554.214	194.340	522.772
20	0.833	0.0012	218.420	584.193	194.340	551.050
22	0.917	0.0012	218.420	612.707	194.340	577.946
24	1.000	0.0012	218.420	639.951	194.340	603.645

Fuente: Prueba de Bombeo - Elaboración Propia.

Los radios de influencia para los pozos N° 02 RAPEL y P-12 – El Pedregal son muy parecidos, por lo tanto, se puede definir un radio de influencia máximo de 650.00 m para un bombeo de 24 horas, por lo tanto, los pozos que se perforen a

futuro deber considerar estos valores para no afectar los niveles del agua de acuífero y disminuir su producción.

4.9. HIDROGEOQUIMICA.

Es muy importante conocer la calidad fisicoquímica del agua subterránea, con la finalidad de determinar la concentración y composición de los elementos químicos disueltos en el agua del subsuelo y de acuerdo a los efectos que estos puedan causar se establece sus posibilidades de utilización.

La presente evaluación se realiza en dos etapas. La primera es la toma de muestras de dos pozos de la zona evaluada, donde se determina la conductividad eléctrica del agua. La segunda etapa se basa en los resultados de dos (02) muestras de agua de los pozos N° 02 RAPEL y P-12 El Pedregal, analizados en el Laboratorio de la “UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA”, Facultad de Agronomía cuyos análisis efectuados para determinar las características fisicoquímicas y la clasificación de agua para riego de dichas muestras.

FIGURA N° 33: Muestreo de Agua Pozo P-12, El pedregal.



Fuente: Elaboración Propia.

4.9.1. Características Físico Químicas.

a) pH

Es la medida de la concentración de iones de hidrogeno (H^+). El agua neutra (agua destilada) tiene un $pH = 7$, el agua ácida $pH < 7$, y el agua alcalina un $pH > 7$.

Por lo tanto, de acuerdo al inventario realizado se tiene que el agua subterránea existente se presenta como **ácida y alcalina**.

b) Composición química

La composición química del agua subterránea se refiere al contenido de iones (aniones y cationes) disueltos en el agua. Para visualizar la composición química de las aguas, se ha elaborado el Diagrama de Schoeller; en el cual se observa que los iones predominantes son **Sodio (Na) y Cloro (Cl)**

Así mismo, de acuerdo al Diagrama de Piper, el agua analizada se clasifica como **Aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas**

c) Dureza.

La dureza del agua de riego es un índice que valora el contenido de calcio y magnesio en el agua. Se calcula mediante la siguiente fórmula, se expresa en grados hidrométricos franceses (GHF):

$$\text{Dureza} = \frac{Ca^{+2} * 2.5 + Mg^{+2} * 4.2}{10}$$

Donde los iones se expresan en mg/l y su interpretación se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO N° 10: Clasificación del agua de riego en función de GHF

Tipo de agua	Grados Hidrométricos Franceses
Muy Blanda	Menor de 7
Blanda	7 – 14
Semiblanda	14 – 22
Semidura	22 – 32
Dura	32 – 54
Muy Dura	Mayor de 54

Para el agua que se muestreo, se han obtenido los siguientes valores:

Pozo RAPEL N° 02 = 53.92 GHF

Pozo P-12 – El Pedregal= 42.33 GHF

Por lo tanto, el agua subterránea en la zona se clasifica como **Agua Dura**.

4.9.2. Clasificación de Agua para Riego.

Esta evaluación se realiza de acuerdo a la clasificación de Richards del laboratorio de Salinidad de Riverside, California U.S. (1954).

d) Criterio de salinidad.

La conductividad eléctrica (C.E.) es la recíproca de la resistencia eléctrica e indica en forma indirecta la concentración salina de una solución, así a mayor concentración de sales, mayor será la conductividad eléctrica.

Las sales disueltas en el suelo disminuyen el potencial osmótico y exige a las raíces un esfuerzo adicional para absorber el agua, lo cual puede ocasionar una reducción en los rendimientos de los cultivos.

CUADRO N° 11: Clasificación del agua de riego en función de su C.E.

CLASIFICACIÓN	CE (mmhos/cm)	RIESGO DE SALINIDAD
C1	0.10 – 0.25	Bajo
C2	0.25 – 0.75	Medio
C3	0.75 – 2.25	Alto
C4	>2.25	Muy Alto

Se evaluaron 12 medidas de conductividad eléctrica de los pozos inventariados, los cuales varían entre 1.20 a 4.85 mmhos/cm para el caso de pozos tubulares, mientras en el caso del pozo tubular la C.E. es igual a 1.50 mmhos/cm. Por lo tanto, el agua presenta un riesgo de salinidad de alto a muy alto. Teniendo en cuenta que el cuadro regional de la mineralización global o grado de salinidad se muestra de acuerdo a la conductividad eléctrica, se ha elaborado la carta de Curvas de Isoconductividad Eléctrica. (Ver lamina N° 11).

e) Criterio de sodicidad

Este criterio también se denomina, criterio de permeabilidad o criterio de infiltración, etc., precisamente porque el efecto del sodio es disminuir esas propiedades en el suelo. Es importante determinar la Relación de adsorción de sodio (RAS), para lo cual se utiliza la siguiente formula:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Donde los cationes se expresan en mg/l.

Por lo tanto, reemplazando los valores de los cationes se ha obtenido lo siguiente:

$$RAS \text{ Pozo RAPEL 02} = 7.90$$

$$RAS \text{ Pozo P-12 – El Pedregal} = 6.60$$

Por lo tanto, la relación de adsorción del sodio es considerada media a alta (ver Anexo: Clasificación de agua para riego).

Es importante identificar que de acuerdo a la clasificación del agua para riego se ha determinado como **C3-S1** y **C4-S1**.

4.10. DEMANDA DE AGUA DEL PROYECTO.

El agua subterránea de los dos pozos tubulares será utilizada con fines netamente agrícola. El área a irrigar es de aproximadamente 15.00 Has, con la instalación de banano orgánico, el cual requiere un volumen de 15,996.00 m³/ha/año. La demanda total anual se muestra en el siguiente.

CUADRO N° 12: Demanda de Agua

Cultivo	Area bajo riego (Ha)	Demanda de Agua Mensual (m ³ /Ha)													Demanda Total Anual (m ³ /año)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	
Banano Organico	150.00	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	15996	2399400

4.10.1. Régimen de Explotación.

El régimen de explotación está sujeto al caudal que se obtenga de cada pozo perforado, pero se ha estimado extraer un caudal de 40 l/s por cada uno, presentándose el siguiente cuadro.

CUADRO N° 13: Régimen de explotación.

Nombre del Pozo	Caudal de Explotación (l/s)	Tiempo de Bombeo (Horas/día)	Volumen Mensual de Explotación (m ³)												Volumen Anual de Explotación (m ³ /año)
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
POZO N° 01	40	19	84816	76608	84816	82080	84816	82080	84816	84816	82080	84816	82080	84816	998640
POZO N° 02	40	19	84816	76608	84816	82080	84816	82080	84816	84816	82080	84816	82080	84816	998640
TOTAL=															1997280

De acuerdo al cuadro anterior, el régimen de bombeo ha determinado que con un caudal de 40 l/s por cada pozo, con un bombeo diario de 19 horas, se explotará un volumen anual de 1,997,280.00 m³.

V. RESULTADOS Y DISCUSION.

5.1. ANALISIS GEOELECTRICO.

5.1.1. Valoración Cuantitativa.

En base al procesamiento y la interpretación de las curvas de resistividades aparentes se han establecido los siguientes parámetros para cada uno de los sondeos:

- a) Número de capas geoelectricas,
- b) Resistividad real por capa geoelectrica, en ohm-m,
- c) Espesor de cada capa, en m.

En el cuadro se muestran los resultados de la interpretación de las curvas de resistividades aparentes obtenidos en los 10 puntos investigados. Se han determinado las resistividades reales y el espesor aproximado de cada una de las capas del subsuelo y en base a estos dos parámetros se ha definido la naturaleza de los diferentes materiales geológicas y cualitativamente su permeabilidad, su resistencia transversal y la salinidad del agua subterránea.

CUADRO N° 14: Valoración cuantitativa de los SEV's

SEV N°	PARÁMETRO	CAPAS GEOELÉCTRICAS				
		1	2	3	4	5
1	P	1225.61	41.40	14.40	59.40	6.60
	H	50.00	25.00	45.00	30.00	50.00
	D	50.00	75.00	120.00	150.00	200.00
2	P	1215.75	42.50	14.75	61.50	5.90
	H	50.00	20.00	50.00	25.00	55.00
	D	50.00	70.00	120.00	145.00	200.00
3	P	1211.51	41.90	15.05	63.40	6.30
	H	50.00	30.00	40.00	30.00	50.00
	D	50.00	80.00	120.00	150.00	200.00
4	P	1211.81	44.30	14.35	65.00	6.10
	H	50.00	25.00	45.00	25.00	55.00
	D	50.00	75.00	120.00	145.00	200.00
5	P	1207.74	46.55	14.00	65.80	6.00
	H	55.00	35.00	40.00	40.00	30.00
	D	55.00	90.00	130.00	170.00	200.00
6	P	1222.28	46.40	15.05	64.20	5.50

	H	55.00	25.00	40.00	30.00	50.00
	D	55.00	80.00	120.00	150.00	200.00
7	P	1229.36	45.80	14.60	65.60	5.60
	H	60.00	35.00	35.00	40.00	30.00
	D	60.00	95.00	130.00	170.00	200.00
8	P	1223.68	44.40	15.30	63.80	7.00
	H	60.00	30.00	40.00	30.00	40.00
	D	60.00	90.00	130.00	160.00	200.00
9	P	1232.60	46.40	13.90	61.15	6.80
	H	60.00	20.00	30.00	30.00	60.00
	D	60.00	80.00	110.00	140.00	200.00
10	P	1235.24	44.20	15.70	64.40	5.80
	H	60.00	30.00	40.00	20.00	50.00
	D	60.00	90.00	130.00	150.00	200.00
P = Resistividad en ohm-m. H = Espesor de la capa, en m. D = Profundidad de la Capa, en m.						

Fuente: Elaboración Propia Análisis de SEV's

5.1.2. Valoración Cualitativa.

Mediante el análisis de los resultados mostrados en el cuadro anterior podemos establecer la existencia de estructuras cuya descripción litológica e hidrogeológica se detalla a continuación:

CUADRO N° 15: Valoración Cualitativa de los SEV's

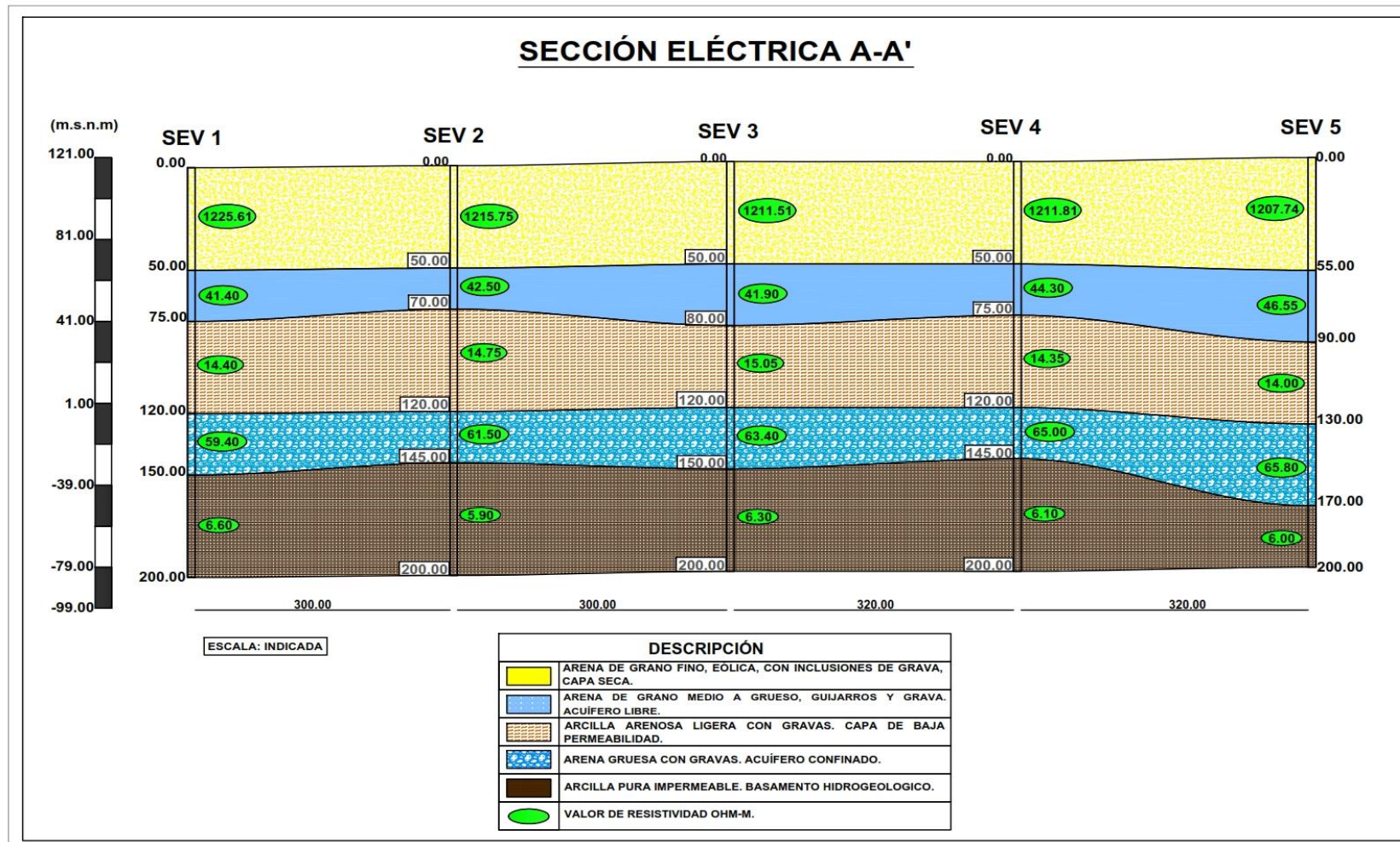
CAPA N°	DESCRIPCIÓN Y ATRIBUCIÓN LITOLÓGICA	P Ohm-m	H m	D M
		PROMEDIO		
	Capa geoelectrica superior conformada por arena eólica, de grano fino, color gris claro, polimixtica, con inclusiones de grava y guijarros e intercalaciones delgadas de arcilla. Capa de mediana permeabilidad. Capa seca. Sus resistividades varían desde 1207.74 hasta 1235.24 ohm-m y sus espesores acumulados son en de 50,00m., hasta 60.00m.	1221.56	55.00	60.00
2	Segunda capa geoelectrica, conformada por arena media a gruesa con inclusiones de gravas y guijarros e intercalaciones delgadas de arcilla. Capa de mediana a alta permeabilidad saturada con agua de mediano grado de mineralización, acuífero libre. Sus resistividades varían desde 41.40 hasta 46.55 ohm-m y sus espesores acumulados varían desde 20,00m., hasta 35,00m.	44.39	27.50	95.00
3	Tercera capa geoelectrica, constituida por arcilla arenosa ligera con intercalaciones de arcilla e inclusiones de grava y guijarros. Capa de baja permeabilidad. Su resistividad varía desde 13.90 hasta 15.70 ohm-m y sus espesores acumulados varían desde 30,00m., hasta 50,00m.	14.71	40.50	130.00

4	Cuarta capa geoelectrica conformada por arena de grano distinto con inclusiones de grava, guijarros y cantos rodados e intercalaciones delgadas de arcilla. Capa de mediana a alta permeabilidad saturada con agua de bajo grado de mineralización. Acuífero confinado. Sus resistividades varían desde 59.40 hasta 65.80 ohm y sus espesores acumulados varían desde 20.00m., hasta 40.00m.	63.43	30.00	170.00
5	Capa geoelectrica de fondo constituida por arcilla pura impermeable, constituye el basamento hidrogeológico. Sus resistividades varían desde 5.50 ohm hasta 7.00 ohm y sus espesores acumulados hasta la profundidad de investigación varían desde 30.00m., hasta 60.00m.	6.16	47.00	200.00

5.1.3. Secciones Geoelectricas.

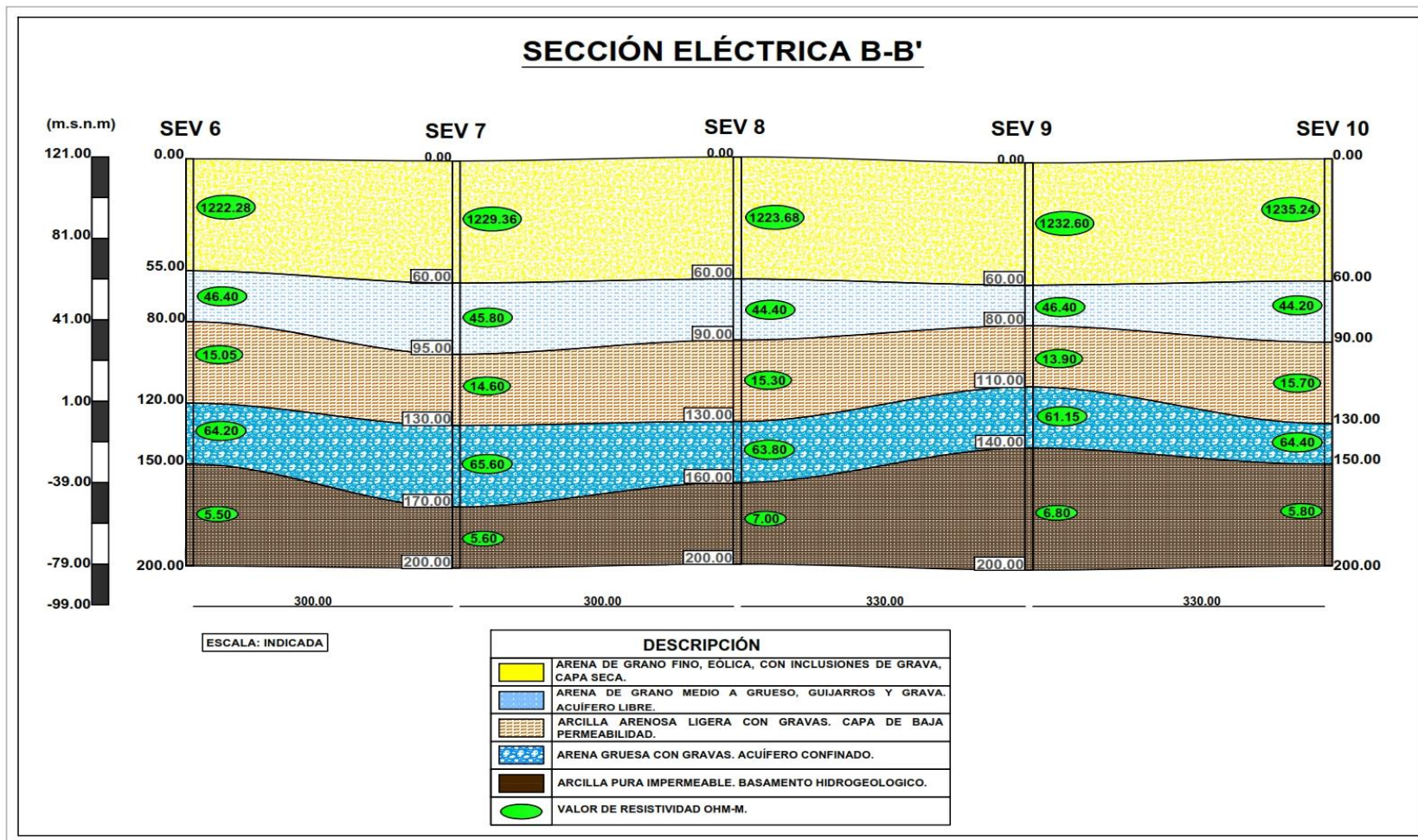
Mediante el análisis cualitativo y cuantitativo se obtiene el perfil geoelectrico de cada sondaje el mismo que se relaciona para la construcción de las secciones Geoelectricas. A continuación, se describe la sección geoelectrica A-A' (conformada por los SEV's 1, 2, 3, 4 y 5) y la sección geoelectrica B-B' (conformada por los SEV's 6, 7, 8, 9 y 10).

FIGURA N° 34: Sección Geoeléctrica A-A'



Fuente: Elaboración Propia – Resultados Prospección Geoeléctrica

FIGURA N° 35: Sección Geoeléctrica B-B'



Fuente: Elaboración Propia – Resultados Prospección Geoeléctrica.

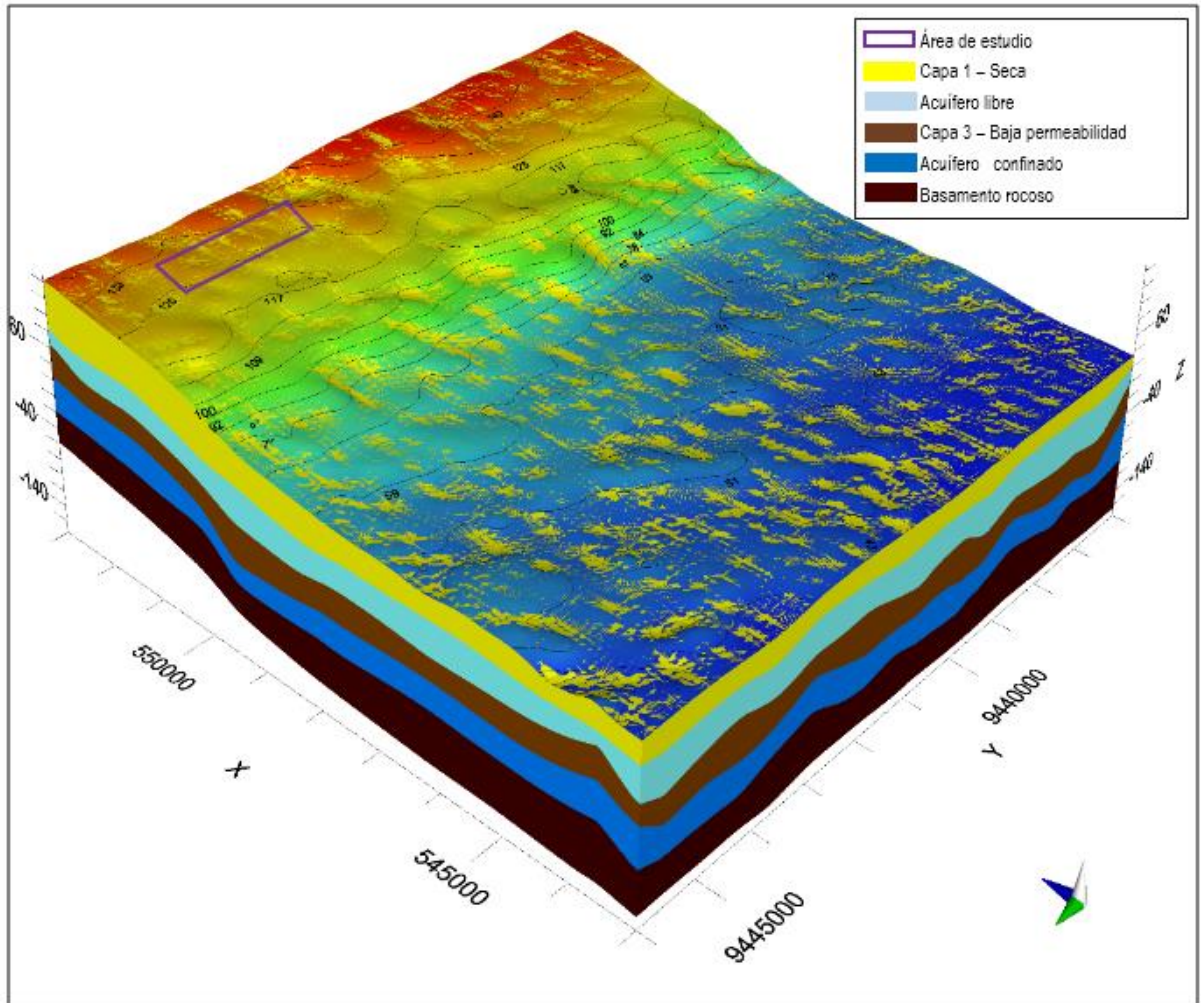
5.2. MODELO CONCEPTUAL.

El modelo conceptual es una representación física - matemática que simplifica la hidrogeología de una zona o dominio seleccionado.

Numéricamente se puede definir el sistema modelado por una serie de parámetros y variables que gobiernan el flujo y la conservación de la masa en medios porosos (La Ley de Darcy, ecuación de continuidad, ecuación de la difusividad), basados en observaciones reales y percepciones de la zona seleccionada.

El modelo conceptual del sistema acuífero donde se ha elaborado el presente estudio se ha planteado a partir del análisis conjunto de la información geológica, hidrogeológica y geofísica, con el objetivo de cuantificar el flujo de agua dulce. En este contexto, y en base a los conocimientos referidos a la hidrodinámica que siguen las aguas subterráneas, el acuífero en mención se evaluó mediante el software Modflow. Como se puede ver en las siguientes figuras donde se muestran los techos de las superficies productiva y confinada.

FIGURA N° 36: Modelo conceptual de la zona de investigación



Fuente: elaboración Propia – Software Modflow Flex 2015

5.2.1. Plataformas.

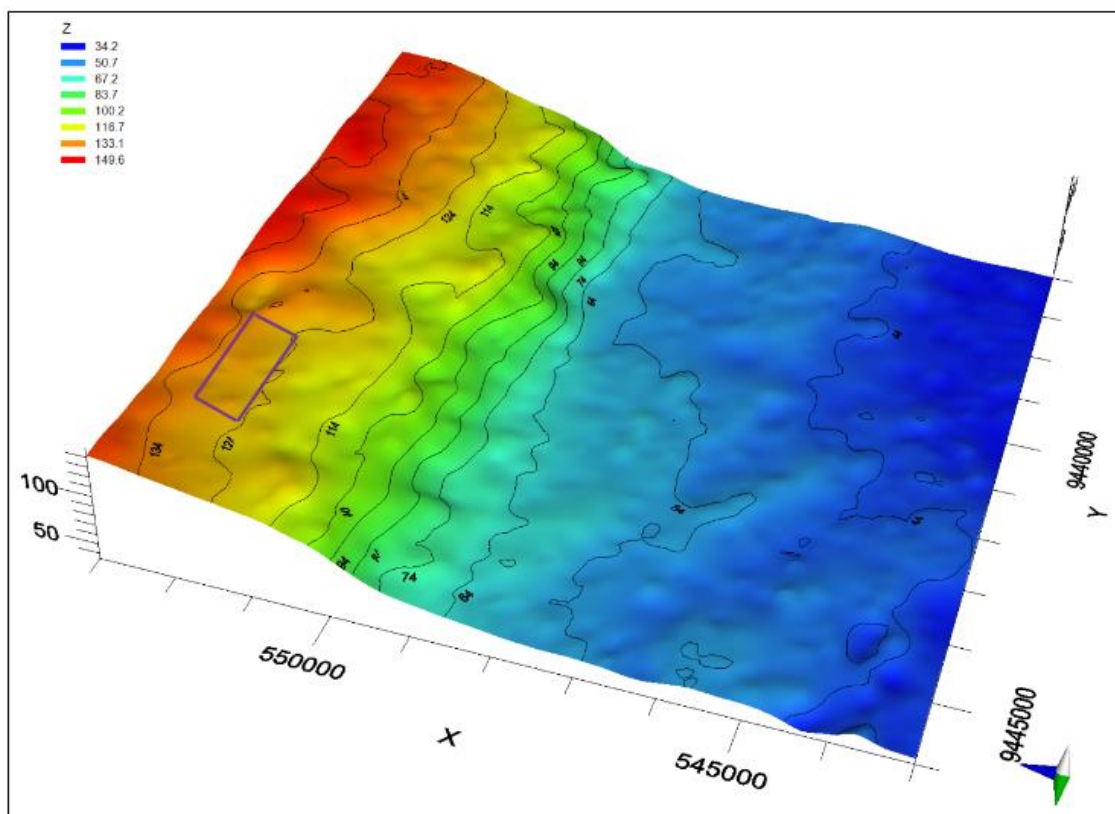
Para la elaboración de plataformas, se procedió a la recopilación de la información cartográfica digital correspondiente a topografía superficial, topografía del basamento y características hidráulicas del acuífero. El ámbito de trabajo para la generación de la referida información está definido a partir de la delimitación del ámbito de la zona de investigación.

a) Topografía de superficie

Para la generación de la topografía de superficie se trabajó con un modelo digital de terreno (DEM) del Perú, el cual se procesó con el software Surfer, obteniendo como producto final las referidas curvas

topográficas del ámbito de la zona de trabajo, las mismas que también se han convertido a puntos para su traslado al software de Visual Modflow.

FIGURA N° 37: Relieve del Terreno.

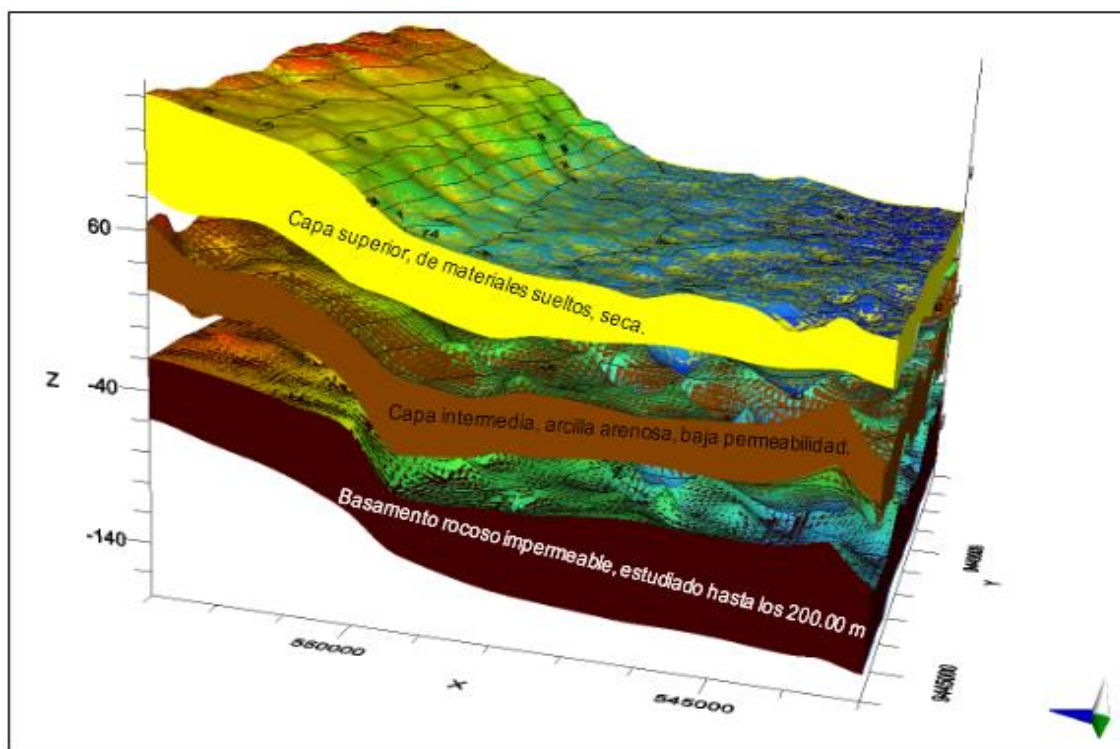


Fuente: elaboración Propia – Software Modflow Flex 2015

b) Topografía sub superficial

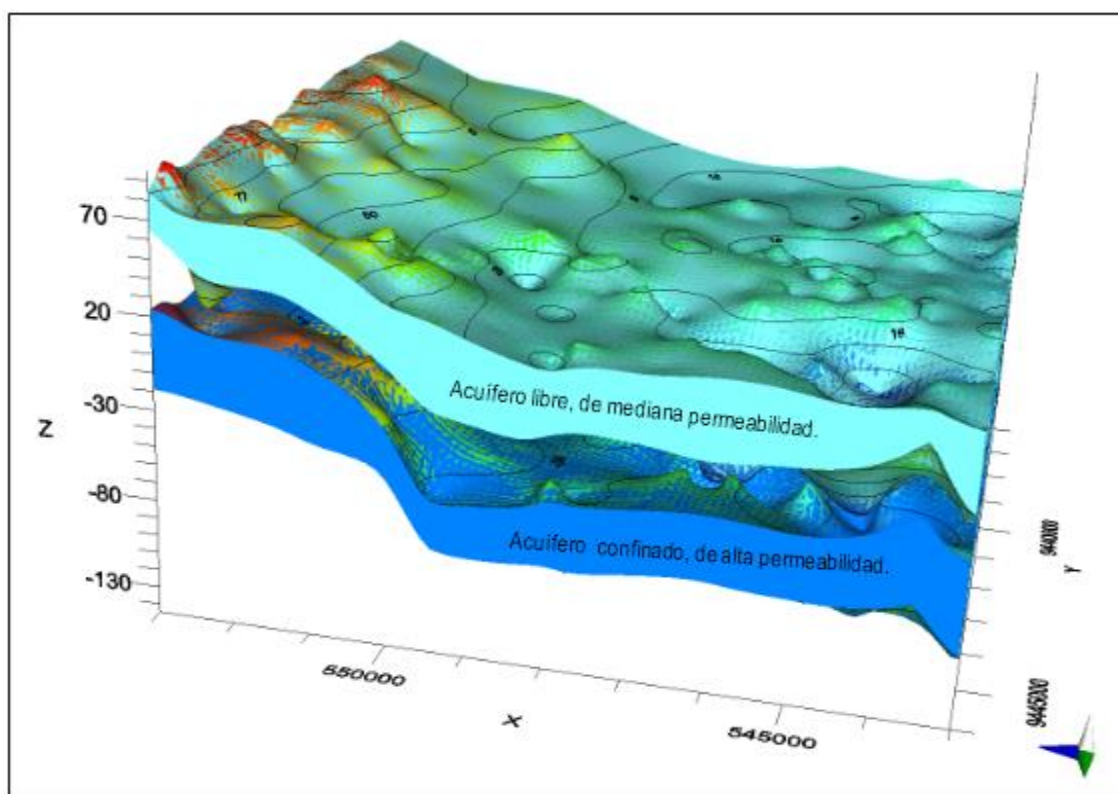
Nos indica la profundidad de las capas subterráneas, así como también la del agua dulce, la misma que ha sido generada con la información geofísica proporcionada de los sondeos eléctricos verticales SEV realizado por el consultor y de las empresas que se encuentran dentro de la zona evaluada, a estos sondeos se le asignó su respectiva cota topográfica en base al modelo digital de terreno (DEM). En las siguientes figuras se muestran los techos y horizontes obtenidos durante el modelamiento.

FIGURA N° 38: Techos y horizontes no productivos



Fuente: elaboración Propia – Software Modflow Flex 2015

FIGURA N° 39: Techos y horizontes productivos



Fuente: elaboración Propia – Software Modflow Flex 2015

5.2.2. Parámetros Hidráulicos del Acuífero.

Los parámetros hidráulicos son los que se obtuvieron con la ejecución de las pruebas de bombeo. Los valores utilizados fueron los siguientes:

$$T = 206.43 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$K = 2.50 \text{ m/día}$$

$$S = 0.0012$$

5.2.3. Diseño del Modelo.

El modelo conceptual se elaboró usando el programa modular de diferencias finitas, Visual Modflow Flex 2015. Este método simula la continuidad del sistema acuífero mediante matrices de celdas discretas, pero de propiedades uniformes.

a) Discretización espacial

Se ha considerado un tamaño de malla de 10000 m x 10000 m, habiéndose obtenido 200 columnas y 200 filas con equidistancias de 50 m para cada caso.

b) Geometría del acuífero en la zona de estudio

Queda definido en 2 estratos, el primero (color celeste) es el acuífero libre, y el segundo (color azul) es el acuífero confinado. El segundo acuífero es el más recomendable para la explotación de agua subterránea.

c) Límites impermeables

El acuífero en estudio se encuentra limitado por afloramientos rocosos en la zona de estudio, que en promedio se presentan a partir de los 160.00 m, alcanzando la profundidad máxima estudiada de 200.00 m.

5.2.4. Resultados del Modelo.

El modelo conceptual se elaboró usando el programa modular de diferencias finitas, Visual Modflow Flex 2015. Este método simula la continuidad del sistema acuífero mediante matrices de celdas discretas, pero de propiedades uniformes.

Como resultado de la elaboración del modelo conceptual; se ha podido cuantificar que por la zona de interés estaría circulando un flujo de agua dulce promedio de 35,000.00 m³/día, factible de ser aprovechado por pozos tubulares, considerando que este resultado tiene un margen de error de +/-15%.

La zona de interés ha presentado características muy favorables para la explotación de agua subterránea, ya que existe un acuífero semiconfinado con buenas características litológicas e hidrogeológicas. El modelo está preparado para la segunda fase, calibración régimen permanente, para ello se debe generar información referente a las cargas de agua mediante la instalación de pozos de observación.

5.3. RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUA PARA RIEGO.

Los resultados obtenidos del análisis químico y su aplicación el diagrama SAR (ver anexo) indican la clasificación de agua para riego: **C3-S1 y C4-S1**.

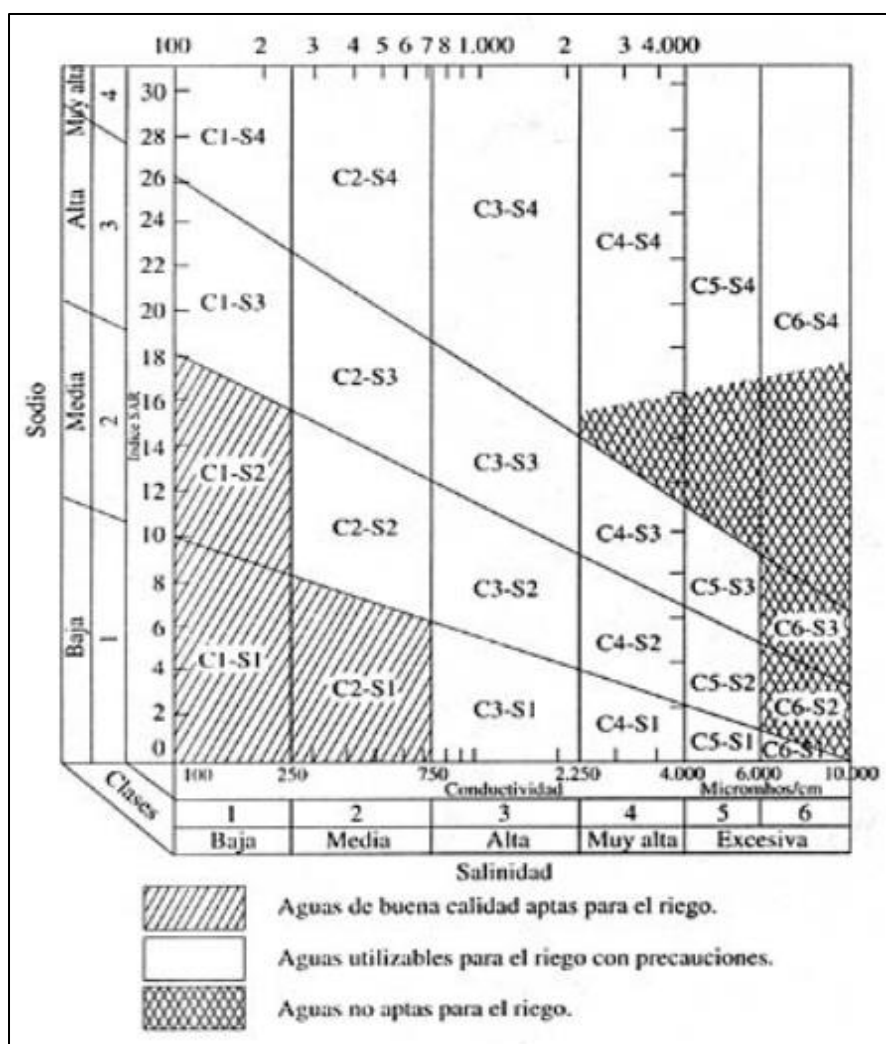
Es decir:

C3: Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.

C4: Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.

S1: Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

CUADRO N° 16: Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.
(U.S. Soil Salinity Laboratory).



Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA,1973)

5.4. DISPONIBILIDAD HÍDRICA.

Para determinar la disponibilidad hídrica del presente estudio es necesario comparar la demanda de agua con la oferta (régimen de explotación). Para ello se ha elaborado el siguiente cuadro donde se detalla la disponibilidad de agua.

CUADRO N° 17: Disponibilidad hídrica

Nombre del Pozo	Área (Ha)	Volumen Mensual de Explotación (m³)												Volumen Anual de Explotación (m³/Ha/año)	Total Volumen Anual de Explotación (m³/año)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic		
Demanda	150.0	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	15996	2399400
Oferta	POZO 1	84816	76608	84816	82080	84816	82080	84816	84816	82080	84816	82080	84816	998640	1997280
	POZO 2	84816	76608	84816	82080	84816	82080	84816	84816	82080	84816	82080	84816	998640	
TOTAL=															-402120

Por lo tanto, existe un déficit en la disponibilidad hídrica proyectada en la zona, con un déficit de -402,120 m³/año, por lo cual es necesario considerar la ubicación de un pozo más en un radio no menor a 621 metros a fin de evitar interferencia entre los pozos.

5.5. ANTEPROYECTO DE LA OBRA DE CAPTACION.

5.4.1. Ubicación de los Puntos de Captación.

Para definir la ubicación de los pozos, se han ejecutado 10 estaciones de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs) de superficie, cuyos resultados han permitido construir 02 secciones geoelectricas. Debido al uso y la cantidad del agua, se ha considerado la capa II y IV como factible para explotar, ya que según el estudio geofísico el agua es de mediano grado de mineralización, suficiente para abastecer de agua a los cultivos.

Los resultados cuantitativos encontrados han permitido establecer que en los 10 SEVs las características litológicas y las profundidades no difieren mucho, por lo que se ha considerado que los pozos pueden ser perforados en las inmediaciones de los SEV N° 05 y 07, mostrando las coordenadas en el siguiente cuadro.

CUADRO N° 18: Coordenadas de los pozos proyectados

Nombre del pozo proyectado	SEV	Coordenadas UTM WGS84		
		Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)
N° 01	05	551252	9444799	121.00
N° 02	07	551759	9444450	124.00

5.4.2. Diseño Técnico Preliminar de los Pozos.

Para el diseño de la captación de agua subterránea, se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Características hidrogeológicas del sector.
- Características hidrodinámicas del acuífero que se pretende captar.
- Litología.
- Volumen de agua requerido.
- Distribución temporal de la demanda.

Este estudio ha permitido realizar los diseños preliminares de los pozos proyectados, los cuales deberán reajustarse teniendo en cuenta tanto los resultados de la perforación como la diagraña que se ejecute y análisis granulométrico de las muestras de los horizontes acuíferos.

El diseño técnico preliminar de los pozos proyectados se presenta en el Anexo y han sido establecidos teniendo en consideración el caudal requerido, la profundidad actual del nivel de agua y el abatimiento que se alcanzaría durante el bombeo. Quedando por definir la profundidad exacta durante la perforación y los estratos aprovechables.

5.4.3. Diseño Hidráulico de los Pozos.

En el diseño hidráulico es necesario estimar el abatimiento y la probable posición del nivel dinámico (ND) en el pozo proyectado, basándose en las pérdidas de carga que se generarían dentro del pozo cuando este sea sometido a explotación. Esta información es importante para estimar la profundidad a partir de donde se puede ubicar la sección filtrante, para este cálculo se utiliza la ecuación general de abatimiento:

$$N.D = \Delta h_T + N.E$$

$$ND = AQ + B * Q^2 + VC + \Delta i + NE$$

La cual indica que el abatimiento total (Δh_T) es la suma de los abatimientos parciales, donde:

AQ es el abatimiento debido a las características hidrogeológicas del acuífero, **BQ²** es el Abatimiento debido a las características constructivas de la obra, **VC** debido a las variaciones cíclicas del nivel freático y **Δi** por la interferencia de pozos vecinos, que para el presente caso no existe.

El abatimiento debido a las características hidrogeológicas del acuífero, se empleó la fórmula de Theis – Jacob:

$$\Delta h_T = \left(\frac{0.183 * Q}{T} \right) \left[\log \left(\frac{2.25 * T * t}{r_p^2 * S} \right) \right] + B * Q^2 + VC$$

Donde:

Q = Caudal del pozo, m³/seg.

T = Transmisividad, m²/seg.

t = Tiempo de bombeo, seg.

r_p = Radio del tubo de ademe del pozo, m.

S = Coeficiente de almacenamiento, adimensional.

B = Coeficiente de Walton, dependiente de la calidad constructiva de la obra.

La información básica considerada para el diseño es la siguiente:

Q = 40 l/s = 0.040 m³/s

T = 206.43 m²/día = 0.0024 m²/s

t = 19 horas = 68400 s

r_p = 6" = 0.1524 m

S = 0.0012

B = 2500 s²/m⁵

VC = 2 m

N.E = 25.00 m

Aplicando los datos considerados anteriormente, obtenemos que el abatimiento total (ΔhT) es igual a 28.00 m. Si incluimos el nivel estático promedio (N.E) que es igual a 25.00 m, entonces obtenemos un nivel dinámico (N.D) de 53.00 m, para un caudal de 40 l/s y un tiempo de bombeo de 19 horas.

5.4.4. Diseño Físico de los Pozos.

Los diseños han sido elaborados tomando en cuenta las características hidráulicas y condiciones hidrogeológicas del área de estudio. Los referidos diseños deberán reajustarse con los resultados que se vayan obteniendo del estudio granulométrico de las muestras de material del acuífero que se extraigan durante la perforación y de la diagráfia.

El diseño físico ha consistido en definir las siguientes características:

- ❖ Diámetro y longitud de la sección de admisión.
- ❖ Diámetro y longitud del entubado ciego.
- ❖ Diámetro y profundidad de perforación.

CUADRO N° 19: Diseño físico de los pozos

N° SEV	Perforación definitiva del Pozo.		Entubado Ciego 12" x 1/4"			Filtros de Acero Inox 12" x 1/4" De...a...m.	Cementación De...a...m.	Engravado De...a...m.
	Diámetro (pulg)	Profundidad máxima (m)	TCE De...a...m.	TCS De...a...m.	TCI De...a...m.			
5	19"	175	-0.50 - 0.00	0.00 - 70.00	170.00 - 175.00	70.00 - 90.00	0.00 - 60.00	60.00 - 175.00
				90.00 - 130.00		130.00 - 170.00		
7	19"	175	-0.50 - 0.00	0.00 - 70.00	170.00 - 175.00	70.00 - 95.00	0.00 - 60.00	60.00 - 175.00
				95.00 - 130.00		130.00 - 170.00		

Fuente: Elaboración Propia.

a) Sección de admisión

La sección de admisión está representada por la columna de filtro que se localiza por debajo de la probable posición del nivel estático, tal como se puede apreciar en cuadro anterior y las figuras de los diseños preliminares de los pozos (ver anexo).

El filtro que se recomienda utilizar es el de abertura tipo puente trapezoidal, diámetro de 12" x 1/4" de espesor, con aberturas de 1.5 mm. En lo referente al material, para una mayor duración se recomienda usar tubería de acero inoxidable, caso contrario acero negro laminado al calor (LAC) de bajo contenido de carbono electro soldado.

b) Entubado ciego

En el cuadro anterior, se pueden apreciar que existen 3 tramos de entubado ciego respectivamente que se localizan de la siguiente manera:

TCE = Tubería ciega externa. Tubería que sobresale de la superficie del suelo.

TCS= Tubería ciega de superficie. Entubado que se extiende desde la superficie del suelo hasta empalmar con la columna de filtros.

TCI = Tubería ciega inferior. Entubado ciego localizado al fondo del pozo y funciona como trampa de arena o colector.

c) Perforación

Se puede perforar por el método de rotación. En este caso, el diámetro de perforación definitivo es de 19" en toda su longitud. El estudio recomienda perforar hasta 175.00 m.

d) Cementación

La cementación se realiza con la finalidad de sellar los estratos de agua sala y evitar la contaminación del acuífero. La cementación se puede preparar con cemento tipo V.

e) Pre filtro de grava

La gradación de grava será en base a los resultados del análisis granulométrico de la formación acuífera, así como la abertura de los filtros será ajustada de este análisis (Método de US BUREAU OF RECLAMATION). La grava deberá ser limpia y redondeada, como material son preferibles el cuarzo y los otros materiales a base de sílice. Se recomienda grava de diámetro de 1/8" a 1/4". La caliza y los esquistos son indeseables para este fin.

5.4.5. Especificaciones Técnicas.

a) Método de Perforación.

Rotación:

Este es el método más recomendado en el valle del Medio y Bajo Piura, debido al avance diario que se alcanza y los costos son más bajos comparado con otros métodos (percusión, mixto).

La herramienta trabaja girando sobre el fondo del sondeo por medio de un tren de varillas, que transmite la energía de la sonda situada en superficie sobre la herramienta de corte. En este método de perforación hay a su vez una gran variedad, según la forma de trabajar la herramienta de corte y la manera de eliminar los detritos producidos. Así tenemos:

Circulación directa, en el cual el medio de transporte de ripio (agua, lodo, polímero...) se introduce en el fondo del sondeo por el interior del varillaje y sale junto con el detritus por el espacio anular comprendido entre la pared del pozo y el varillaje.

Circulación inversa, el esquema funciona al revés, es decir, se introduce por el anillo exterior el agua o lodo y se extrae por el interior de la sonda de perforación junto con el detritus. Este método es el más indicado a utilizar en terrenos detritos, no consolidados o ambos, cuando es necesario realizar sondeos de gran diámetro y profundidad, causando el menor daño posible a los acuíferos atravesados.

b) Etapas de Perforación del Pozo.

Perforación del Pozo Exploratorio:

Luego de la instalación del equipo y preparación de la cancha de trabajo, con los canales de circulación del lodo de perforación y sedimentadores necesarios, se procederá a la perforación del pozo exploratorio con un diámetro no mayor a 8".

Es con el taladro rotatorio del equipo de perforación que se perfora hasta la profundidad que considera el SEV; en 8" de diámetro de la broca de la sarta de perforación, con recuperación de muestras de estratos en

superficie que serán recolectadas cada dos metros, empezando desde la superficie y en cualquier cambio pronunciado de estratos.

Como es conocido, en la perforación a rotación, se utiliza lodo de perforación que se inyecta a presión, cumpliendo básicamente tres funciones: refrigerante de la herramienta de corte (trepano tricónico), estabilizador de la pared de perforación en materiales detríticos (arenas, gravas, etc.), y evacuador de la lama. En los trabajos se utilizará una solución de bentonita, con una viscosidad del orden de 20 - 25 seg. que es la recomendada para perforar en materiales como arena media y fina, como es el caso.

Durante la perforación, se toman muestras en cada cambio de material y se van colocando en forma ordenada, para su posterior descripción, a fin de tener una idea de la granulometría de los estratos que se pasan durante la perforación, cuyos límites o contactos se precisan con la diagráfia eléctrica, la cual a su vez en forma generalizada permite diferenciar la permeabilidad entre los materiales de los acuíferos.

Registro de Diagrafi: resistividad y rayos gamma, incluido diseño de pozo:

Terminado el pozo exploratorio, dentro de este se corre dos tipos de sonda: la corta que precisará el tramo de baja mineralización de los estratos y la larga que determinará la zona de alta mineralización de los estratos; en base a esta información se diseña el perfil litológico y técnico del pozo.

Estos datos incluyen informaciones litológicas estratigráficas y estructurales, indicadores de la mineralogía y de la concentración de las menas e indicadores para la exploración geofísica a partir de la superficie. Se realizará a fin de precisar los límites de los estratos filtrantes, característicos para el lugar, obtener controles de voltaje y resistencia eléctrica, diferenciar en forma generalizada la permeabilidad entre los materiales del acuífero.

Se presentarán graficas (resistividad vs. profundidad) de las digrañas eléctricas, determinando el perfil litológico y permeabilidad. Los resultados de la diagraña servirán de base para el diseño del perfil técnico del pozo, vale decir, para determinar la ubicación correcta de los filtros en el encamisado tubular.

Rimado de la perforación del pozo:

Consiste en el ensanchamiento del pozo exploratorio aprobado a satisfacción del supervisor de la obra. El pozo será ensanchado por escariado hasta alcanzar la profundidad y diámetro de 19”.

Luego de la operación de ensanchamiento, el contratista dejará listo el hueco para que se mida la sección mediante un calibrador; si se comprueba que en cualquier punto el diámetro es menor al especificado, el hueco deberá ser nuevamente ensanchado y luego medido.

Entubado:

a) Tubería ciega

La longitud total de perforación será de 175.00 m. en los pozos N° 1 y 2. El material para la entubación ciega y revestimiento del pozo será de acero inoxidable, y constituida por tramos de 3.00 de longitud mínima y soldada. La tubería ciega tendrá un espesor de 1/4”.

b) Filtros

Los filtros serán instalados de acuerdo a los resultados de la diagraña del perfilaje geofísico (resistividad y gamma). Se tendrán en cuenta las siguientes características:

- El diámetro de los filtros será de 12”.
- El filtro será de tipo puente trapezoidal o ranura continua resistentes a la corrosión.
- La longitud estimada según el diseño preliminar es de 60.00 m en el pozo N° 1 y 65.00 m. en el pozo N° 2.

- En el diseño definitivo durante la ejecución de la obra se puede efectuar el reajuste del factor diseño del filtro, pudiendo utilizarse filtros prefabricados.

Suministro y aplicación de grava seleccionada:

La grava consistirá de partículas limpias, firmes, durables, basalto y bien redondeadas, con tamaño de grano y granulación seleccionados. La granulometría será establecida en el estudio definitivo del pozo, en función a los análisis granulométricos de la formación acuífera y a las aberturas de las rejillas de captación, debiendo esta ser aprobada por el supervisor, y no se aceptará una desviación del tamaño superior al 15%. Sin embargo, se ha considerado preliminarmente entre 1/8" – 1/4" el diámetro de la gravilla. La roca triturada no es aceptable como material para filtro de grava, pero las gravas de río tamizadas de una fuente local podrían ser aceptables.

Inyección de cemento para impermeabilizar el pozo:

Concluida las actividades de perforación e instalada la tubería ciega de protección y los filtros se procederá a la preparación de la lechada de cemento tipo V, el cual será colocado desde el fondo de la formación de protección del acuífero explotable hasta la superficie anular del pozo. Al efectuarse los trabajos de cementación se tendrá especial cuidado en mantener constante el fluido de tal forma que cubra todo el espacio anular entre la formación natural y la tubería ciega.

Desarrollo del pozo:

Desarrollo del pozo con aire comprimido

Desarrollo – limpieza con aire comprimido; tiene la finalidad de acomodar el pre filtro (grava) en las zonas aledañas al filtro y dejar el empaque de grava libre de finos. El equipo es una compresora de aire, manguera de conexión, tubería de inyección y tubería reductora; instalado el equipo se inyectará el aire, creando una emulsión de aire - agua, la que se expulsará a superficie hasta que el agua salga libre de finos. El desarrollo del pozo tiene por finalidad evacuar el lodo de perforación y derruir la costra formada en la pared de perforación al

pasar los estratos acuíferos, devolviendo a estos sus características naturales de filtración.

El desarrollo se ejecutará por el método de inyección de aire a alta presión utilizando una compresora, y con recirculación de agua desde la superficie a través del pre filtro, iniciándose la inyección de aire en el tramo filtrante de mayor profundidad, de abajo hacia arriba. La limpieza y evacuación de partículas arcillosas y arenas se ejecutará por el sistema “air lift”, utilizando el equipo de inyección de aire comprimido.

Durante el desarrollo con aire comprimido, se practicará la alternancia de inyección de aire propiamente dicho, con la extracción de agua para el sistema de air lift; continuando con esta labor hasta lograr la completa clasificación del agua. Cada filtro se lavará con chorro de agua limpia y se aplicará Tripolifosfato de Sodio o el Aqua - Clear que son químicos para disolver lodos, arcillas que puedan quedarse en la zona de admisión del pozo; finalmente se completará el desarrollo con bombeo de aire y pistoneo frente a los filtros hasta la obtención de agua limpia en superficie. Este proceso se realizará durante aprox. 72 hrs. o más si las condiciones del pozo las requieren.

Análisis y prueba del pozo:

❖ Análisis granulométrico del pozo

Identificación, almacenaje y traslado

Las muestras obtenidas de la formación inmediatamente después de haber sido colocadas dentro del recipiente, serán etiquetadas claramente, ya sea escribiendo directamente sobre la superficie del recipiente o en una tarjeta adherida al mismo, usando tinta, lápiz indeleble u otro medio que sea resistente a la humedad y a la luz solar. La etiqueta no debe ser fácilmente removible del recipiente. La empresa perforadora será responsable por el almacenamiento seguro de las muestras obtenidas de la formación hasta tanto sean aceptadas por el supervisor.

❖ **Prueba de verticalidad y alineamiento**

Las perforaciones y los entubados deberán ser redondos verticales y alineados. Para demostrar el cumplimiento de este requisito, la empresa perforadora proporcionará la mano de obra y equipo y efectuará la prueba de manera ordenada por el ingeniero a satisfacción de este. El resultado de la prueba deberá ser presentado en cuadros y gráficamente y deberá evidenciar que es posible el ingreso libre de la bomba, por lo menos basta unos diez (10) metros sobre el tope de la rejilla. La prueba de verticalidad y alineamiento se ejecutará una vez terminada la construcción del pozo, y antes de instalarse el equipo de bombeo de prueba. Si el supervisor estima necesario se efectuará otra prueba de verticalidad y alineamiento después de efectuado el bombeo de prueba.

❖ **Prueba de bombeo ininterrumpido**

Se determinará en esta prueba el rendimiento óptimo y seguro de explotación del pozo para tal efecto se medirán los descensos del nivel de agua en función del tiempo de bombeo para diferentes caudales. El supervisor dará aprobación a la empresa perforadora para conducir la prueba cuando el pozo haya sido completado y su verticalidad y alineamiento hayan sido aprobadas. Antes de la prueba se medirá el nivel estático del agua.

La empresa perforadora proveerá un equipo de bombeo con capacidad de extraer caudales variables de acuerdo lo indicado por el supervisor. El equipo de bombeo constituido por bomba turbina de eje vertical y motor estacionario, deberá estar en buen estado de conservación y de funcionamiento y será capaz de operar sin interrupciones por un periodo mínimo de 72 horas. En la tubería de descarga del pozo se instalará un caudalímetro, tubo pitot, orificio circular con tubo piezómetro u otro dispositivo que permita una buena medida del caudal a extraer.

Durante la prueba será sometido a producción durante 72 horas continuas, como mínimo y por lo menos a cuatro (04) regímenes

distintos, en forma escalonada. El cambio del régimen se efectuará solo cuando se obtenga estabilización de los niveles del agua y con aprobación del supervisor que podrá ordenar pruebas de bombeo complementarias con fines de determinación de parámetros hidrogeológicos del acuífero y de evaluación de la eficiencia hidráulica de acuífero.

❖ **Análisis físico – químico del agua de pozo**

Durante la prueba de bombeo se colectará una muestra de dos (2) litros como mínimo para análisis físico químico, el cual debe ser efectuado en un laboratorio autorizado. Los análisis deberán permitir evaluar la calidad del agua para los fines requeridos (agrícola). El procedimiento para extraer la muestra se ejecutará con recipientes debidamente esterilizados otorgados por el laboratorio especializado, ello permitirá resultados más confiables.

c) Limpieza y producción del pozo.

Limpieza final y eliminación de desmonte de la perforación:

Al terminar con el proceso de perforación, se deberá hacer la limpieza del área de trabajo, asimismo se tendrá que eliminar todo el material, producto de la perforación que se encuentre dentro de la zona del proyecto.

Sello metálico de la boca del pozo:

Al terminar con las pruebas del pozo se soldará una plancha de ¼” en la boca de pozo, para evitar posibles entradas de materias extraídas al interior. La boca del pozo deberá quedar como mínimo a 0.50 m. del nivel del terreno natural. Cualquier accesorio o dispositivo que permitan acceso al pozo deberán también satisfacer los anteriores requisitos de elevación sobre el terreno y serán sellados o enrejillados de tal manera que impida el ingreso de materias extrañas o contaminantes.

Sello del fondo del pozo tubular.

Se colocará un tapón de cemento en el fondo de la lina, para evitar intrusión de agua por el fondo de la misma. En todo momento durante el

proceso del trabajo, la empresa perforadora adoptará las precauciones razonables para evitar intromisiones en el pozo o el ingreso de materias extrañas dentro del mismo. La protección tendrá una altura mínima de 3.00 m. aproximadamente.

5.6. DISCUSION.

Los resultados encontrados en el desarrollo de cada capítulo en la presente investigación determinan que es necesario la aplicación de cada uno ya que nos permiten sustentar la información recopilada y la información de campo.

Los resultados geofísicos indican la existencia de dos mantos acuíferos, el primero de tipo libre cuyas características de resistividad describen un horizonte (segunda capa geoelectrica) saturado con agua de mediano grado de mineralización y el segundo de tipo confinado con resistividades que indican un horizonte (cuarta capa geoelectrica) saturado con agua de bajo grado de mineralización. Siendo el objetivo de uso de agua para cultivo es factible el aprovechamiento de ambos mantos acuíferos.

En cuanto a la hidrodinámica subterránea mediante la ejecución de las pruebas de bombeo en 2 pozos cercanos a la zona de investigación tomados del inventario de pozos y fuentes de agua subterránea indican resultados satisfactorios en cuanto a Transmisividad, Conductividad hidráulica o permeabilidad y Coeficiente de Almacenamiento, reflejados en las fases de descenso y recuperación durante la prueba de bombeo.

Los resultados encontrados en los análisis químicos clasifican el agua muestreada en los pozos cercanos a la zona de investigación como aguas aptas para riego con precaución las mismas que podrían recibir un tratamiento para ser mejoradas.

Los resultados del modelo conceptual indican la disponibilidad de aguas subterráneas en el sector cuya explotación deberá ser de manera responsable

VI. CONCLUSIONES.

- ❖ Las características geológicas y geomorfológicas indican la existencia de una cobertura de origen cuaternario que da como resultado un relieve llano a ondulado de depósitos eólicos que subyacen sobre la formación Zapallal, por debajo se encuentra el volcánico Lancones, el volcánico La Bocana y el Volcánico Eros, pertenecientes a la cuenca sedimentaria Lancones, vecina del sector norte.
- ❖ La investigación geofísica permitió definir 02 secciones geoelectricas, generando 05 horizontes, determinando que los horizontes II y IV son aprovechables para la explotación de agua subterránea.
- ❖ Desde el punto de vista hidrogeológico, existen dos tipos de acuíferos en la zona de estudio, acuífero libre y acuífero confinado. El primero compuesto por arena de grano medio a grueso con inclusiones de gravas y cantos rodados, y capas delgadas de arcilla correspondientes a depósitos de origen cuaternario. El segundo compuesto por arena gruesa con grava e intercalaciones de arcilla, dicha litología se relaciona a la formación Zapallal, siendo parte del denominado Acuífero Zapallal, el mismo cuyos dominios cubren la zona de investigación.
- ❖ Los parámetros hidrogeológicos de acuerdo a las pruebas de bombeo indican que es un acuífero con mediana permeabilidad. El radio de influencia obtenido promedio es de 621.00 m para un bombeo de 24 horas.
- ❖ Se ha ubicado dos pozos proyectados en las siguientes coordenadas y con sus respectivas profundidades y diámetros.

Nombre del pozo	N° SEV	Coordenadas UTM WGS 84		Profundidad (m)	Diámetro perforación	Diámetro entubado
		Este (m)	Norte (m)			
N° 01 – Punta Arena	05	551252	9444799	175.00	19”	12”
N° 02 – Punta Arena	07	551759	9444450	175.00	19”	12”

- ❖ El régimen de explotación por cada pozo indica que el volumen anual explotado es de 1,997,280.00 m³, tal como se muestra a continuación

Nombre del Pozo	Caudal de Explotación (l/s)	Tiempo de Bombeo (Horas/día)	Volumen Mensual de Explotación (m ³)												Volumen Anual de Explotación (m ³ /año)
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
POZO N° 01	40	19	84816	76608	84816	82080	84816	82080	84816	84816	82080	84816	82080	84816	998640
POZO N° 02	40	19	84816	76608	84816	82080	84816	82080	84816	84816	82080	84816	82080	84816	998640
TOTAL=															1997280

- ❖ La calidad física – química del agua ha permitido clasificar el agua como cloruradas y/o sulfatadas sódicas, con salinidad de alta a muy alta, con un nivel de medio a alto en sodio y puede ser usada en suelos sueltos con buen drenaje, para evitar la alcalinización. Además, se caracteriza por ser un agua dura.
- ❖ Se identificaron 22 fuentes de agua subterránea representadas por Pozos tubulares más cercanos a la zona de investigación.
- ❖ Los resultados obtenidos del modelo conceptual indican que por la zona de interés estaría circulando un flujo de agua dulce promedio de 35,000.00 m³/día, factible de ser aprovechado por pozos tubulares, considerando que este resultado tiene un margen de error de +/-15%.
- ❖ El análisis de los volúmenes necesarios para cubrir las demandas de agua del proyecto y el régimen de explotación indica existe un déficit de 402,120.00 m³/año, lo que genera considerar la ejecución de una obra de captación adicional a las ya proyectadas, a fin de no alterar las condiciones naturales de los acuíferos.

Nombre del Pozo	Área (Ha)	Volumen Mensual de Explotación (m ³)												Volumen Anual de Explotación (m ³ /Ha/año)	Total Volumen Anual de Explotación (m ³ /año)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic		
Demanda	150.0	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	1333	15996	2399400
Oferta	POZO 1	84816	76608	84816	82080	84816	82080	84816	84816	82080	84816	82080	84816	998640	1997280
	POZO 2	84816	76608	84816	82080	84816	82080	84816	84816	82080	84816	82080	84816	998640	
TOTAL=															-402120

VII. RECOMENDACIONES.

- ❖ Durante la perforación se deberán estudiar las muestras de los materiales a extraerse del acuífero con la finalidad de:
 - Determinar su granulometría.
 - Definir las características de la grava alrededor de las rejillas
 - Determinar la ubicación de los tramos en donde deberán colocarse las rejillas.
- ❖ Colocar tuberías (ciega y filtros) de acero inoxidable o PVC Clase 10, de diámetros de 12”.
- ❖ Realizar prueba de verticalidad y alineamiento del pozo en toda su longitud.
- ❖ La prueba de rendimiento, como mínimo debe ser de 72 horas continuas, por lo menos a 4 regímenes distintos.
- ❖ Como resultado de los análisis de las muestras de suelo, calidad del agua y diagráfia durante la etapa de perforación, se determinará la ubicación y distribución definitiva de los filtros y la profundidad final que deberá alcanzar el pozo.
- ❖ El diseño tentativo de cada pozo sólo es preliminar, mientras que los definitivos, se determinarán en base a los resultados de la perforación, diagráfia y análisis granulométricos del acuífero.
- ❖ El éxito o fracaso de un pozo depende exclusivamente de las características hidrogeológicas del acuífero además de la calidad técnica de su construcción, por lo que se recomienda que la perforación sea ejecutada por una empresa inscrita en la Autoridad Nacional del Agua, así como supervisada por un especialista en hidrogeología y perforación de pozos.

VIII. ANEXOS.

ANEXO N° 1: Prueba de Bombeo

PRUEBA DE DESCENSO

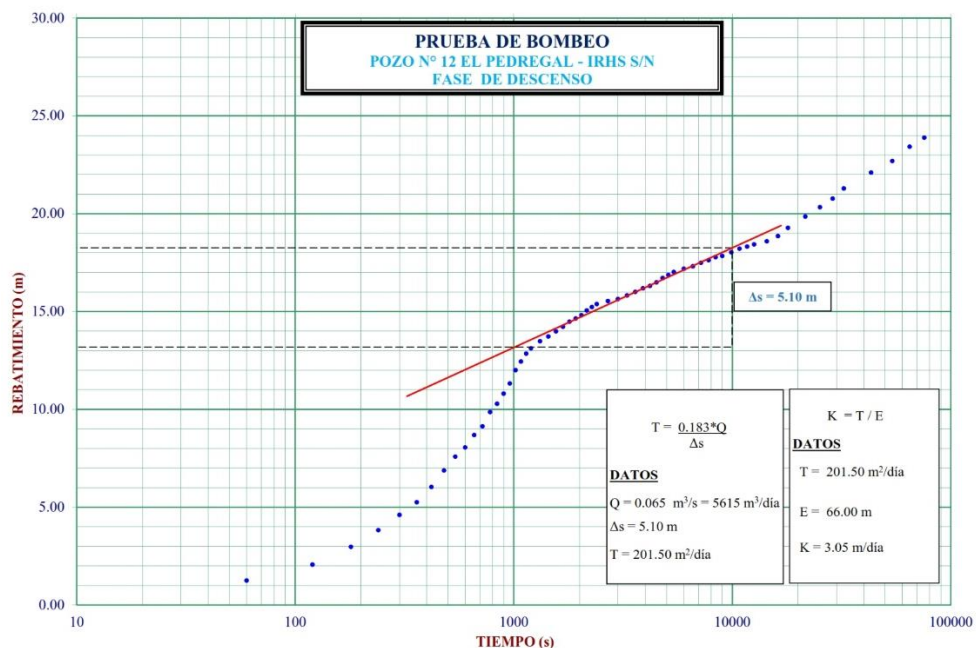
Departamento :	Piura	Provincia :	Piura	Distrito :	Castilla
Coordenadas UTM WGS84 (Zona 17S)		Este (m) :	544784	Norte (m) :	9436438
Nombre del Pozo :	El Pedregal P-12	Ejecutor :	Israel Sarango O.	Fecha :	24/09/2019
N° IRHS :	S/N	N.E. (m) :	25.36	Nivel Ref. (m) :	0.20
Profundidad del Pozo (m) :	150.00	Espesor acuífero (m) :	66.00	Radio del pozo (m) :	0.191

TIEMPO			DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA			
Hora	Min	Seg	Q (m ³ /seg)	Nivel ref. descenso	Nivel descenso	Rebatimiento
		0		25.360	25.160	
	1	60	0.065	26.610	26.410	1.250
	2	120	0.065	27.420	27.220	2.060
	3	180	0.065	28.330	28.130	2.970
	4	240	0.065	29.180	28.980	3.820
	5	300	0.065	29.960	29.760	4.600
	6	360	0.065	30.610	30.410	5.250
	7	420	0.065	31.390	31.190	6.030
	8	480	0.065	32.230	32.030	6.870
	9	540	0.065	32.940	32.740	7.580
	10	600	0.065	33.410	33.210	8.050
	11	660	0.065	34.040	33.840	8.680
	12	720	0.065	34.490	34.290	9.130
	13	780	0.065	35.220	35.020	9.860
	14	840	0.065	35.640	35.440	10.280
	15	900	0.065	36.160	35.960	10.800
	16	960	0.065	36.680	36.480	11.320
	17	1020	0.065	37.360	37.160	12.000
	18	1080	0.065	37.800	37.600	12.440
	19	1140	0.065	38.210	38.010	12.850
	20	1200	0.065	38.470	38.270	13.110
	22	1320	0.065	38.840	38.640	13.480
	24	1440	0.065	39.080	38.880	13.720
	26	1560	0.065	39.340	39.140	13.980
	28	1680	0.065	39.580	39.380	14.220
	30	1800	0.065	39.840	39.640	14.480
	32	1920	0.065	40.000	39.800	14.640
	34	2040	0.065	40.170	39.970	14.810
	36	2160	0.065	40.410	40.210	15.050
	38	2280	0.065	40.580	40.380	15.220
	40	2400	0.065	40.740	40.540	15.380
	45	2700	0.065	40.890	40.690	15.530
	50	3000	0.065	41.000	40.800	15.640
	55	3300	0.065	41.180	40.980	15.820
1	60	3600	0.065	41.360	41.160	16.000
	65	3900	0.065	41.540	41.340	16.180
	70	4200	0.065	41.660	41.460	16.300

PRUEBA DE DESCENSO

Departamento : Piura	Provincia : Piura	Distrito : Castilla
Coordenadas UTM WGS84 (Zona 17S)	Este (m) : 544784	Norte (m) : 9436438
Nombre del Pozo : El Pedregal P-12	Ejecutor : Israel Sarango O.	Fecha : 24/09/2019
Nº IRHS : S/N	N.E. (m) : 25.36	Nivel Ref. (m) : 0.20
Profundidad del Pozo (m) : 150.00	Espesor acuífero (m) : 66.00	Radio del pozo (m) : 0.191

TIEMPO			Q (m³/seg)	DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA		
Hora	Min	Seg		Nivel ref. descenso	Nivel descenso	Rebatimiento
	75	4500	0.065	41.850	41.650	16.490
	80	4800	0.065	42.070	41.870	16.710
	85	5100	0.065	42.220	42.020	16.860
	90	5400	0.065	42.380	42.180	17.020
	100	6000	0.065	42.540	42.340	17.180
	110	6600	0.065	42.670	42.470	17.310
2	120	7200	0.065	42.850	42.650	17.490
	130	7800	0.065	42.980	42.780	17.620
	140	8400	0.065	43.130	42.930	17.770
	150	9000	0.065	43.200	43.000	17.840
	165	9900	0.065	43.380	43.180	18.020
3	180	10800	0.065	43.570	43.370	18.210
	195	11700	0.065	43.680	43.480	18.320
	210	12600	0.065	43.790	43.590	18.430
4	240	14400	0.065	43.940	43.740	18.580
	270	16200	0.065	44.210	44.010	18.850
5	300	18000	0.065	44.630	44.430	19.270
6	360	21600	0.065	45.210	45.010	19.850
7	420	25200	0.065	45.690	45.490	20.330
8	480	28800	0.065	46.130	45.930	20.770
9	540	32400	0.065	46.650	46.450	21.290
12	720	43200	0.065	47.460	47.260	22.100
15	900	54000	0.065	48.050	47.850	22.690
18	1080	64800	0.065	48.780	48.580	23.420
21	1260	75600	0.065	49.240	49.040	23.880



PRUEBA DE RECUPERACIÓN

Departamento : Piura	Provincia : Piura	Distrito : Castilla
Coordenadas UTM WGS84 (Zona 17S)	Este (m) : 544784	Norte (m) : 9436438
Nombre del Pozo : El Pedregal P-12	Ejecutor : Isrrael Sarango O.	Fecha : 25/09/2019
Nº IRHS : S/N	N. E. (m) : 25.36	P.R. (m) : 0.2
Prof. Pozo (m) : 150.00	Tiempo de Bombeo (min) 1260	N.D (m) : 49.24

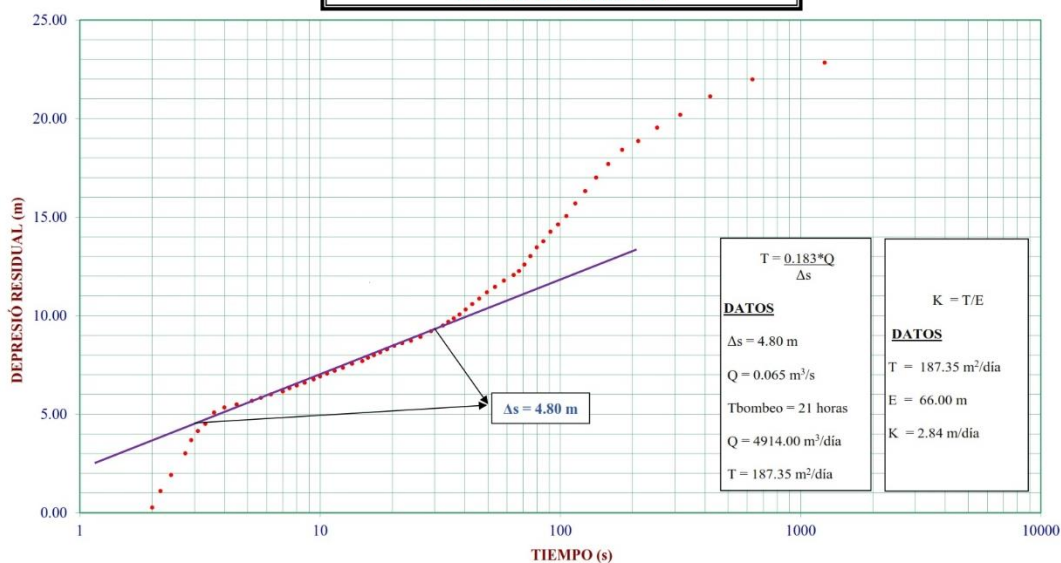
TIEMPO RECUPERACIÓN (Tr)				RECUPERACIÓN DEL NIVEL DE AGUA				
Días	Hora	Min	Seg	(Tb + Tr)/Tr	Q (m ³ /seg)	Nivel		Depresión residual
			0			25.360	25.160	
		1	60	1261.00	0.065	48.200	48.000	22.840
		2	120	631.00	0.065	47.340	47.140	21.980
		3	180	421.00	0.065	46.480	46.280	21.120
		4	240	316.00	0.065	45.550	45.350	20.190
		5	300	253.00	0.065	44.900	44.700	19.540
		6	360	211.00	0.065	44.220	44.020	18.860
		7	420	181.00	0.065	43.770	43.570	18.410
		8	480	158.50	0.065	43.050	42.850	17.690
		9	540	141.00	0.065	42.370	42.170	17.010
		10	600	127.00	0.065	41.680	41.480	16.320
		11	660	115.55	0.065	41.050	40.850	15.690
		12	720	106.00	0.065	40.410	40.210	15.050
		13	780	97.92	0.065	39.990	39.790	14.630
		14	840	91.00	0.065	39.620	39.420	14.260
		15	900	85.00	0.065	39.130	38.930	13.770
		16	960	79.75	0.065	38.820	38.620	13.460
		17	1020	75.12	0.065	38.380	38.180	13.020
		18	1080	71.00	0.065	37.950	37.750	12.590
		19	1140	67.32	0.065	37.620	37.420	12.260
		20	1200	64.00	0.065	37.420	37.220	12.060
		22	1320	58.27	0.065	37.140	36.940	11.780
		24	1440	53.50	0.065	36.820	36.620	11.460
		26	1560	49.46	0.065	36.540	36.340	11.180
		28	1680	46.00	0.065	36.220	36.020	10.860
		30	1800	43.00	0.065	35.950	35.750	10.590
		32	1920	40.38	0.065	35.670	35.470	10.310
		34	2040	38.06	0.065	35.420	35.220	10.060
		36	2160	36.00	0.065	35.220	35.020	9.860
		38	2280	34.16	0.065	35.040	34.840	9.680
		40	2400	32.50	0.065	34.860	34.660	9.500
		45	2700	29.00	0.065	34.570	34.370	9.210
		50	3000	26.20	0.065	34.280	34.080	8.920
		55	3300	23.91	0.065	34.090	33.890	8.730
	1	60	3600	22.00	0.065	33.960	33.760	8.600
		65	3900	20.38	0.065	33.830	33.630	8.470
		70	4200	19.00	0.065	33.650	33.450	8.290
		75	4500	17.80	0.065	33.500	33.300	8.140
		80	4800	16.75	0.065	33.360	33.160	8.000

PRUEBA DE RECUPERACIÓN

Departamento : Piura	Provincia : Piura	Distrito : Castilla
Coordenadas UTM WGS84 (Zona 17S)	Este (m) : 544784	Norte (m) : 9436438
Nombre del Pozo : El Pedregal P-12	Ejecutor : Israel Sarango O.	Fecha : 25/09/2019
N° IRHS : S/N	N. E. (m) : 25.36	P.R. (m) : 0.2
Prof. Pozo (m) : 150.00	Tiempo de Bombeo (min) 1260 :	N.D (m) : 49.24

TIEMPO RECUPERACIÓN (Tr)						RECUPERACIÓN DEL NIVEL DE AGUA		
Días	Hora	Min	Seg	(Tb + Tr)/Tr	Q (m³/seg)	Nivel		Depresión residual
		85	5100	15.82	0.065	33.220	33.020	7.860
		90	5400	15.00	0.065	33.060	32.860	7.700
		100	6000	13.60	0.065	32.920	32.720	7.560
		110	6600	12.45	0.065	32.710	32.510	7.350
	2	120	7200	11.50	0.065	32.560	32.360	7.200
		130	7800	10.69	0.065	32.420	32.220	7.060
		140	8400	10.00	0.065	32.280	32.080	6.920
		150	9000	9.40	0.065	32.130	31.930	6.770
		165	9900	8.64	0.065	31.960	31.760	6.600
	3	180	10800	8.00	0.065	31.820	31.620	6.460
		195	11700	7.46	0.065	31.680	31.480	6.320
		210	12600	7.00	0.065	31.510	31.310	6.150
	4	240	14400	6.25	0.065	31.360	31.160	6.000
		270	16200	5.67	0.065	31.190	30.990	5.830
	5	300	18000	5.20	0.065	31.040	30.840	5.680
	6	360	21600	4.50	0.065	30.850	30.650	5.490
	7	420	25200	4.00	0.065	30.700	30.500	5.340
	8	480	28800	3.63	0.065	30.440	30.240	5.080
	9	540	32400	3.33	0.065	29.870	29.670	4.510
	10	600	36000	3.10	0.065	29.500	29.300	4.140
	11	660	39600	2.91	0.065	29.040	28.840	3.680
	12	720	43200	2.75	0.065	28.370	28.170	3.010
	15	900	54000	2.40	0.065	27.270	27.070	1.910
	18	1080	64800	2.17	0.065	26.460	26.260	1.100
	21	1260	75600	2.00	0.065	25.620	25.420	0.260

PRUEBA DE BOMBEO POZO N° 12 EL PEDREGAL - IRHS S/N FASE DE RECUPERACIÓN



PRUEBA DE DESCENSO

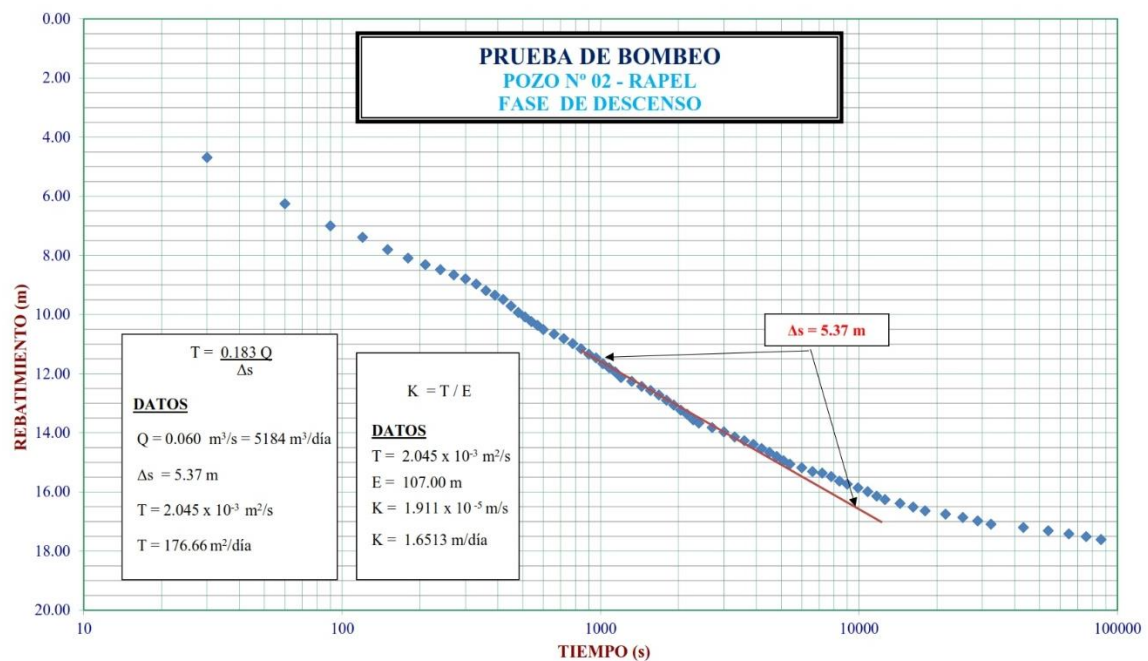
Departamento : Piura	Provincia : Piura	Distrito : Castilla
Coordenadas UTM WGS84	Este (m): 543697	Norte (m) : 9442214
Nombre del Pozo : N° 02 - Rapel	Ejecutor : Isrrael Sarango O	Fecha : 27/09/2019
N° IRHS : 064	N.E. (m) : 10.55	Nivel Ref. (m) : 0.40
Profundidad del pozo (m) : 150	Espesor del acuífero (m) : 107.00	

TIEMPO			Q (m ³ /seg)	DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA		
Hora	Min	Seg		Nivel ref. descenso	Nivel descenso	Rebatimiento
		0		10.550	10.150	
		30	0.060	15.240	14.840	4.690
	1	60	0.060	16.800	16.400	6.250
		90	0.060	17.550	17.150	7.000
	2	120	0.060	17.940	17.540	7.390
		150	0.060	18.350	17.950	7.800
	3	180	0.060	18.640	18.240	8.090
		210	0.060	18.860	18.460	8.310
	4	240	0.060	19.030	18.630	8.480
		270	0.060	19.210	18.810	8.660
	5	300	0.060	19.340	18.940	8.790
		330	0.060	19.520	19.120	8.970
	6	360	0.060	19.740	19.340	9.190
		390	0.060	19.890	19.490	9.340
	7	420	0.060	20.040	19.640	9.490
		450	0.060	20.260	19.860	9.710
	8	480	0.060	20.480	20.080	9.930
		510	0.060	20.630	20.230	10.080
	9	540	0.060	20.790	20.390	10.240
		570	0.060	20.910	20.510	10.360
	10	600	0.060	21.060	20.660	10.510
	11	660	0.060	21.210	20.810	10.660
	12	720	0.060	21.360	20.960	10.810
	13	780	0.060	21.530	21.130	10.980
	14	840	0.060	21.710	21.310	11.160
	15	900	0.060	21.890	21.490	11.340
	16	960	0.060	22.020	21.620	11.470
	17	1020	0.060	22.210	21.810	11.660
	18	1080	0.060	22.350	21.950	11.800
	19	1140	0.060	22.490	22.090	11.940
	20	1200	0.060	22.680	22.280	12.130
	22	1320	0.060	22.810	22.410	12.260
	24	1440	0.060	22.980	22.580	12.430
	26	1560	0.060	23.120	22.720	12.570
	28	1680	0.060	23.270	22.870	12.720
	30	1800	0.060	23.450	23.050	12.900
	32	1920	0.060	23.610	23.210	13.060
	34	2040	0.060	23.780	23.380	13.230
	36	2160	0.060	23.920	23.520	13.370
	38	2280	0.060	24.110	23.710	13.560
	40	2400	0.060	24.220	23.820	13.670
	45	2700	0.060	24.370	23.970	13.820
	50	3000	0.060	24.520	24.120	13.970
	55	3300	0.060	24.690	24.290	14.140
1	60	3600	0.060	24.820	24.420	14.270
	65	3900	0.060	24.940	24.540	14.390

PRUEBA DE DESCENSO

Departamento : Piura	Provincia : Piura	Distrito : Castilla
Coordenadas UTM WGS84	Este (m): 543697	Norte (m) : 9442214
Nombre del Pozo : N° 02 - Rapel	Ejecutor : Isrrael Sarango O.	Fecha : 27/09/2019
N° IRHS : 064	N.E. (m) : 10.55	Nivel Ref. (m) : 0.40
Profundidad del pozo (m) : 150	Espesor del acuífero (m) : 107.00	

TIEMPO			Q (m³/seg)	DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA		
Hora	Min	Seg		Nivel ref. descenso	Nivel descenso	Rebatimiento
	70	4200	0.060	25.080	24.680	14.530
	75	4500	0.060	25.210	24.810	14.660
	80	4800	0.060	25.350	24.950	14.800
	85	5100	0.060	25.490	25.090	14.940
	90	5400	0.060	25.610	25.210	15.060
	100	6000	0.060	25.730	25.330	15.180
	110	6600	0.060	25.860	25.460	15.310
2	120	7200	0.060	25.910	25.510	15.360
	130	7800	0.060	26.030	25.630	15.480
	140	8400	0.060	26.180	25.780	15.630
	150	9000	0.060	26.290	25.890	15.740
	165	9900	0.060	26.410	26.010	15.860
3	180	10800	0.060	26.540	26.140	15.990
	195	11700	0.060	26.690	26.290	16.140
	210	12600	0.060	26.810	26.410	16.260
4	240	14400	0.060	26.940	26.540	16.390
	270	16200	0.060	27.060	26.660	16.510
5	300	18000	0.060	27.190	26.790	16.640
6	360	21600	0.060	27.300	26.900	16.750
7	420	25200	0.060	27.410	27.010	16.860
8	480	28800	0.060	27.530	27.130	16.980
9	540	32400	0.060	27.640	27.240	17.090
12	720	43200	0.060	27.750	27.350	17.200
15	900	54000	0.060	27.860	27.460	17.310
18	1080	64800	0.060	27.970	27.570	17.420
21	1260	75600	0.060	28.060	27.660	17.510
24	1440	86400	0.060	28.160	27.760	17.610



PRUEBA DE RECUPERACION

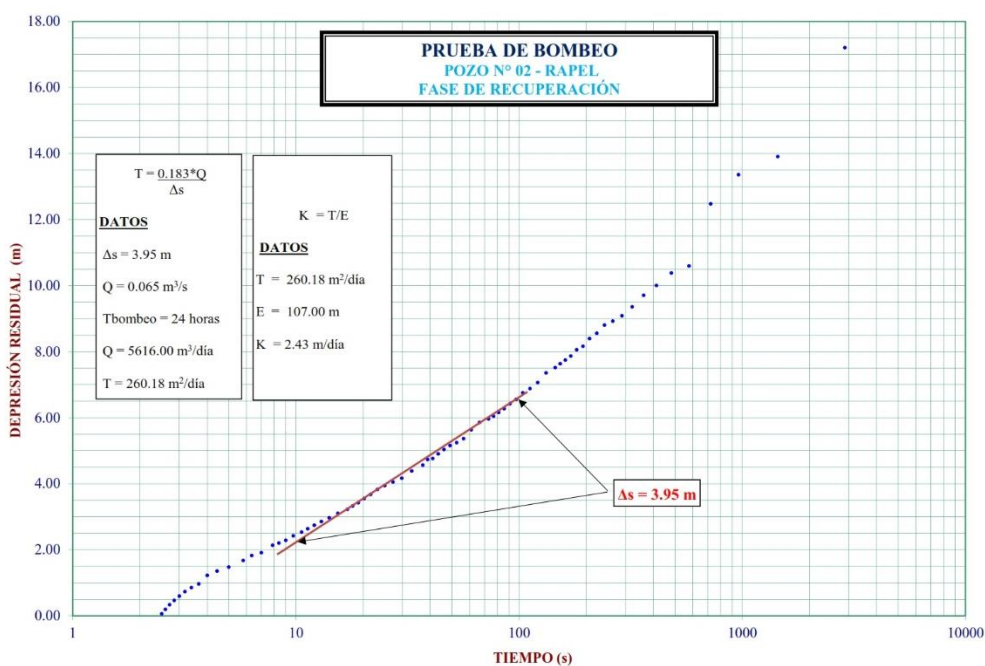
Departamento : Piura	Provincia : Piura	Distrito : Castilla
Coordenadas UTM WGS84 (Zona 17S)	Este (m): 543697	Norte (m) : 9442214
Nombre del Pozo : N° 02 - Rapel	Ejecutor : Isrrael Sarango O.	Fecha : 28/09/2019
N° IRHS : S/N	N. E. (m) : 10.55	P.R. (m) : 0.4
Prof. Pozo (m) : 150.00	Tiempo de Bombeo (min) : 1440	N.D (m) : 28.16

TIEMPO DE RECUPERACIÓN (Tr)				(Tb + Tr)/Tr	CAUDAL m ³ /seg	RECUPERACION DEL NIVEL DE AGUA		
Días	Hora	Min	Seg			Nivel		Depresión residual
			0			10.550	10.150	0.000
		0.5	30	2881.00	0	27.760	27.360	17.210
		1	60	1441.00	0.06	24.463	24.063	13.913
		1.5	90	961.00	0.06	23.912	23.512	13.362
		2	120	721.00	0.06	23.028	22.628	12.478
		2.5	150	577.00	0.06	21.150	20.750	10.600
		3	180	481.00	0.06	20.939	20.539	10.389
		3.5	210	412.43	0.06	20.560	20.160	10.010
		4	240	361.00	0.06	20.260	19.860	9.710
		4.5	270	321.00	0.06	19.910	19.510	9.360
		5	300	289.00	0.06	19.640	19.240	9.090
		5.5	330	262.82	0.06	19.480	19.080	8.930
		6	360	241.00	0.06	19.360	18.960	8.810
		6.5	390	222.54	0.06	19.110	18.710	8.560
		7	420	206.71	0.06	18.950	18.550	8.400
		7.5	450	193.00	0.06	18.720	18.320	8.170
		8	480	181.00	0.06	18.610	18.210	8.060
		8.5	510	170.41	0.06	18.420	18.020	7.870
		9	540	161.00	0.06	18.300	17.900	7.750
		9.5	570	152.58	0.06	18.190	17.790	7.640
		10	600	145.00	0.06	18.070	17.670	7.520
		11	660	131.91	0.06	17.910	17.510	7.360
		12	720	121.00	0.06	17.620	17.220	7.070
		13	780	111.77	0.06	17.435	17.035	6.885
		14	840	103.86	0.06	17.310	16.910	6.760
		15	900	97.00	0.06	17.110	16.710	6.560
		16	960	91.00	0.06	16.980	16.580	6.430
		17	1020	85.71	0.06	16.830	16.430	6.280
		18	1080	81.00	0.06	16.710	16.310	6.160
		19	1140	76.79	0.06	16.600	16.200	6.050
		20	1200	73.00	0.06	16.520	16.120	5.970
		22	1320	66.45	0.06	16.410	16.010	5.860
		24	1440	61.00	0.06	16.190	15.790	5.640
		26	1560	56.38	0.06	15.920	15.520	5.370
		28	1680	52.43	0.06	15.800	15.400	5.250
		30	1800	49.00	0.06	15.710	15.310	5.160
		32	1920	46.00	0.06	15.590	15.190	5.040
		34	2040	43.35	0.06	15.460	15.060	4.910
		36	2160	41.00	0.06	15.320	14.920	4.770
		38	2280	38.89	0.06	15.290	14.890	4.740
		40	2400	37.00	0.06	15.120	14.720	4.570
		45	2700	33.00	0.06	14.940	14.540	4.390
		50	3000	29.80	0.06	14.720	14.320	4.170
		55	3300	27.18	0.06	14.610	14.210	4.060

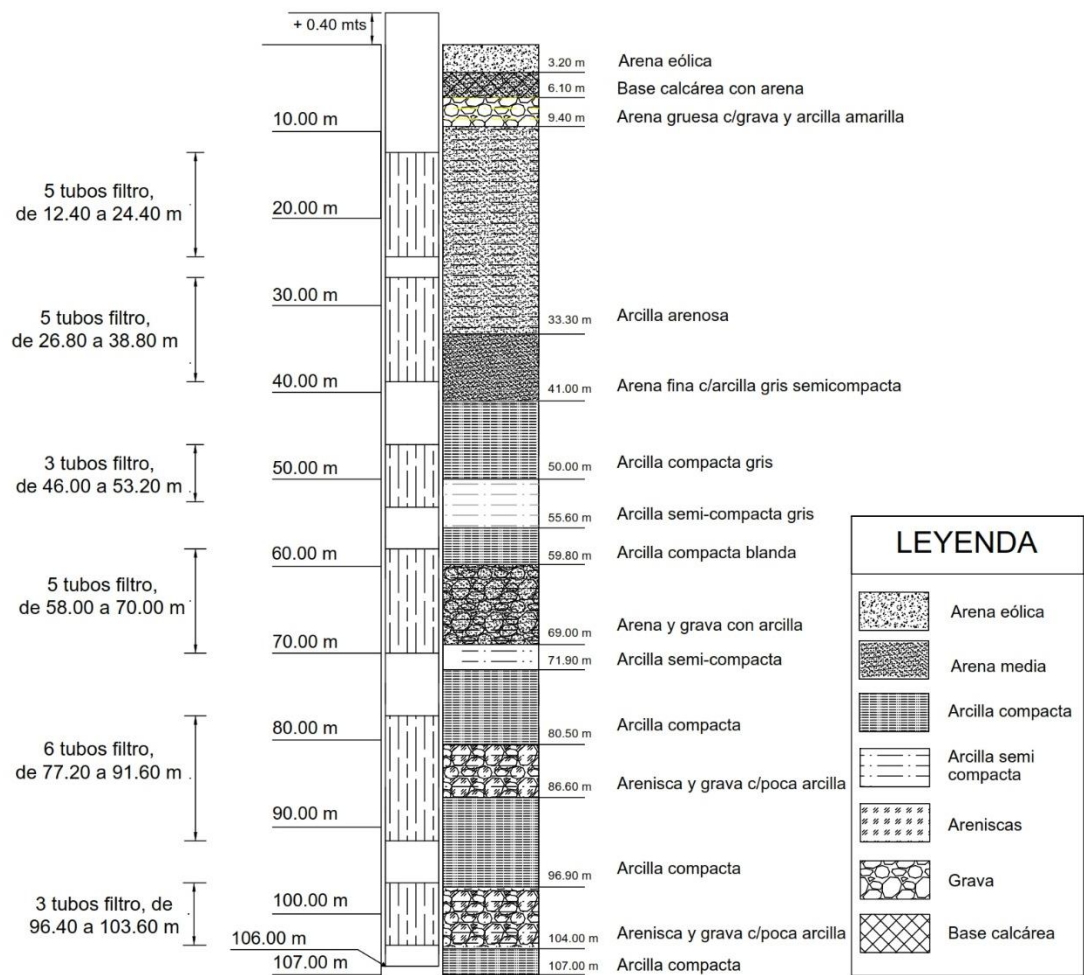
PRUEBA DE RECUPERACION

Departamento : Piura	Provincia : Piura	Distrito : Castilla
Coordenadas UTM WGS84 (Zona 17S)	Este (m): 543697	Norte (m) : 9442214
Nombre del Pozo : N° 02 - Rapel	Ejecutor : Israel Sarango O.	Fecha : 28/09/2019
N° IRHS : S/N	N. E. (m) : 10.55	P.R. (m) : 0.4
Prof. Pozo (m) : 150.00	Tiempo de Bombeo (min) : 1440	N.D (m) : 28.16

TIEMPO DE RECUPERACIÓN (Tr)				(Tb + Tr)/Tr	CAUDAL m ³ /seg	RECUPERACION DEL NIVEL DE AGUA		
Dias	Hora	Min	Seg			Nivel		Depresión residual
	1	60	3600	25.00	0.06	14.500	14.100	3.950
		65	3900	23.15	0.06	14.380	13.980	3.830
		70	4200	21.57	0.06	14.230	13.830	3.680
		75	4500	20.20	0.06	14.110	13.710	3.560
		80	4800	19.00	0.06	13.980	13.580	3.430
		85	5100	17.94	0.06	13.880	13.480	3.330
		90	5400	17.00	0.06	13.780	13.380	3.230
		100	6000	15.40	0.06	13.660	13.260	3.110
		110	6600	14.09	0.06	13.520	13.120	2.970
2	120	7200	13.00	0.06	0.06	13.410	13.010	2.860
	130	7800	12.08	0.06	0.06	13.300	12.900	2.750
	140	8400	11.29	0.06	0.06	13.190	12.790	2.640
	150	9000	10.60	0.06	0.06	13.090	12.690	2.540
	165	9900	9.73	0.06	0.06	12.980	12.580	2.430
3	180	10800	9.00	0.06	0.06	12.840	12.440	2.290
	195	11700	8.38	0.06	0.06	12.760	12.360	2.210
	210	12600	7.86	0.06	0.06	12.690	12.290	2.140
4	240	14400	7.00	0.06	0.06	12.470	12.070	1.920
	270	16200	6.33	0.06	0.06	12.380	11.980	1.830
5	300	18000	5.80	0.06	0.06	12.230	11.830	1.680
6	360	21600	5.00	0.06	0.06	12.030	11.630	1.480
7	420	25200	4.43	0.06	0.06	11.910	11.510	1.360
8	480	28800	4.00	0.06	0.06	11.780	11.380	1.230
9	540	32400	3.67	0.06	0.06	11.520	11.120	0.970
10	600	36000	3.40	0.06	0.06	11.410	11.010	0.860
11	660	39600	3.18	0.06	0.06	11.290	10.890	0.740
12	720	43200	3.00	0.06	0.06	11.150	10.750	0.600
13	780	46800	2.85	0.06	0.06	11.020	10.620	0.470
14	840	50400	2.71	0.06	0.06	10.890	10.490	0.340
15	900	54000	2.60	0.06	0.06	10.750	10.350	0.200
16	960	57600	2.50	0.06	0.06	10.620	10.220	0.070



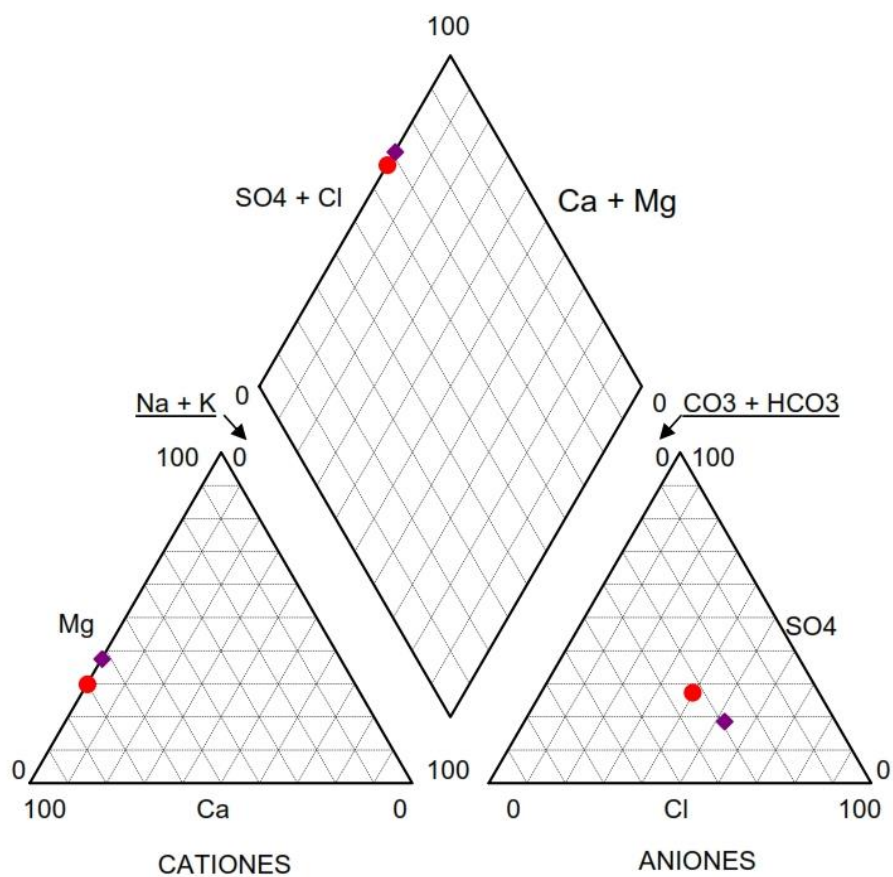
PERFIL LITOLÓGICO - POZO N° 02
EMPRESA SOCIEDAD AGRICOLA RAPEL S.A.C.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Sistema de Perforación: Rotario Directo Equipo: Ford - Frank's Perforación: a. Exploración: 107.00 mts en 12" de diámetro. b. Captación: 106.00 mts en 19" de diámetro. Entubado: 106.0 m de acero al carbono de 15" Φ x 6 mm. Pre filtro de grava: de 19" a 15" Φ - Rango: de 1/8" a 1/4" Volumen de grava: 17.5 m3 (aproximadamente)	Filtros: 64.80 metros de del tipo Puente Trapezoidal (Slot 60) de 2.0 a 2.5 mm de abertura, distribuidas: - De 12.40 a 24.40 m, 12.00 m de tubo filtro. - De 26.80 a 38.80 m, 12.00 m de tubos filtro. - De 46.00 a 53.20 m, 7.20 m de tubos filtro. - De 58.00 a 70.00 m, 12.00 m de tubos filtro. - De 77.20 a 91.60 m, 14.40 m de tubos filtro. - De 96.40 a 103.60 m, 7.20 m de tubos filtro.
---	---

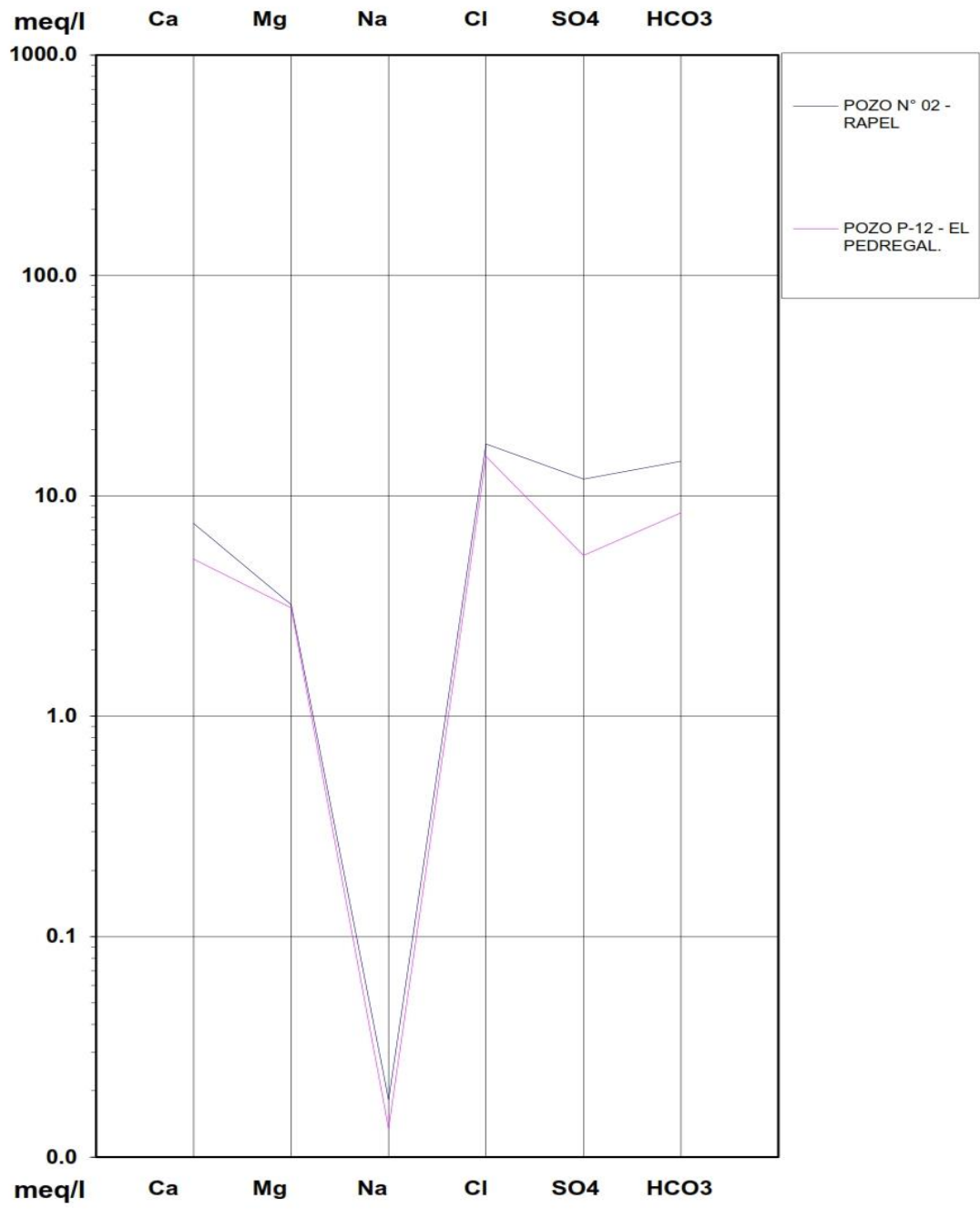
DIAGRAMA DE PIPER



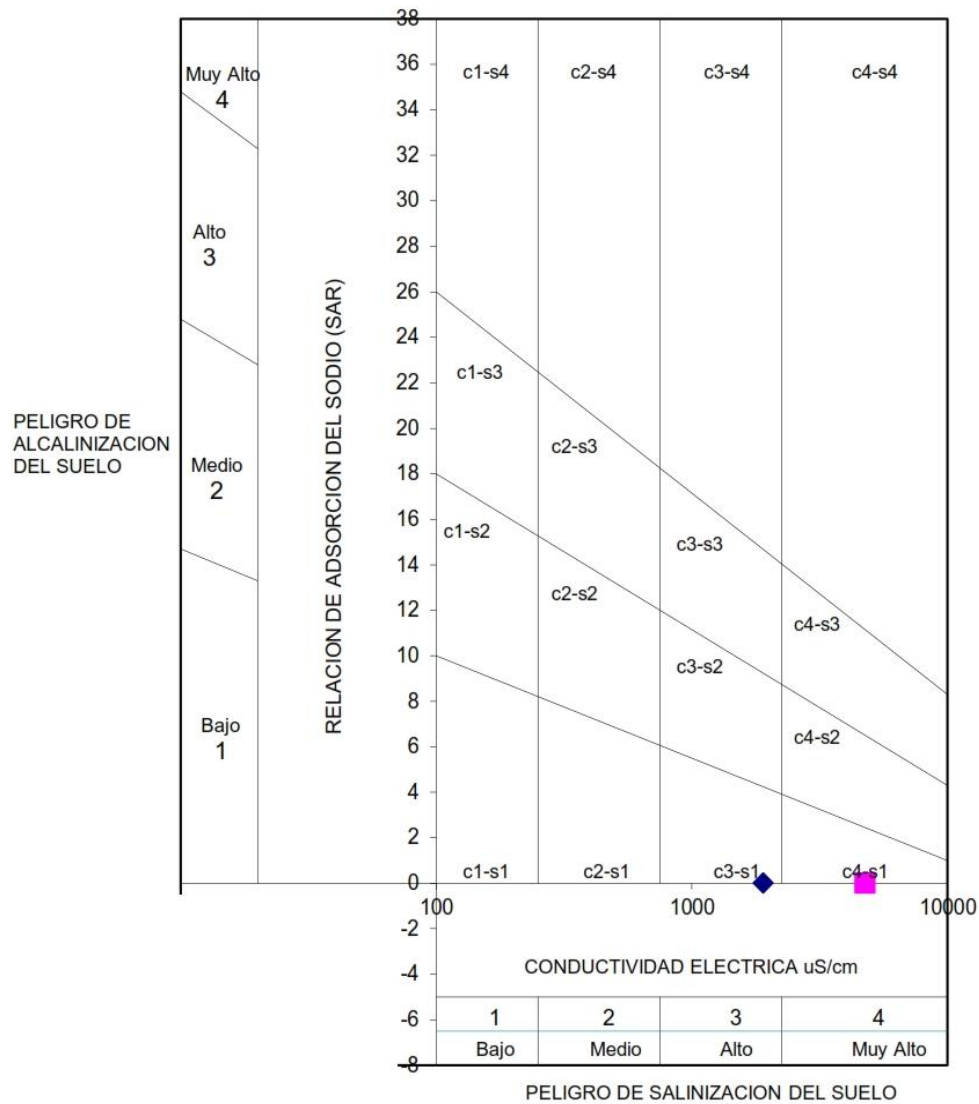
● POZO N° 02 - RAPEL

◆ POZO P-12 - EL PEDREGAL.

DIAGRAMA DE SCHOELLER



CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

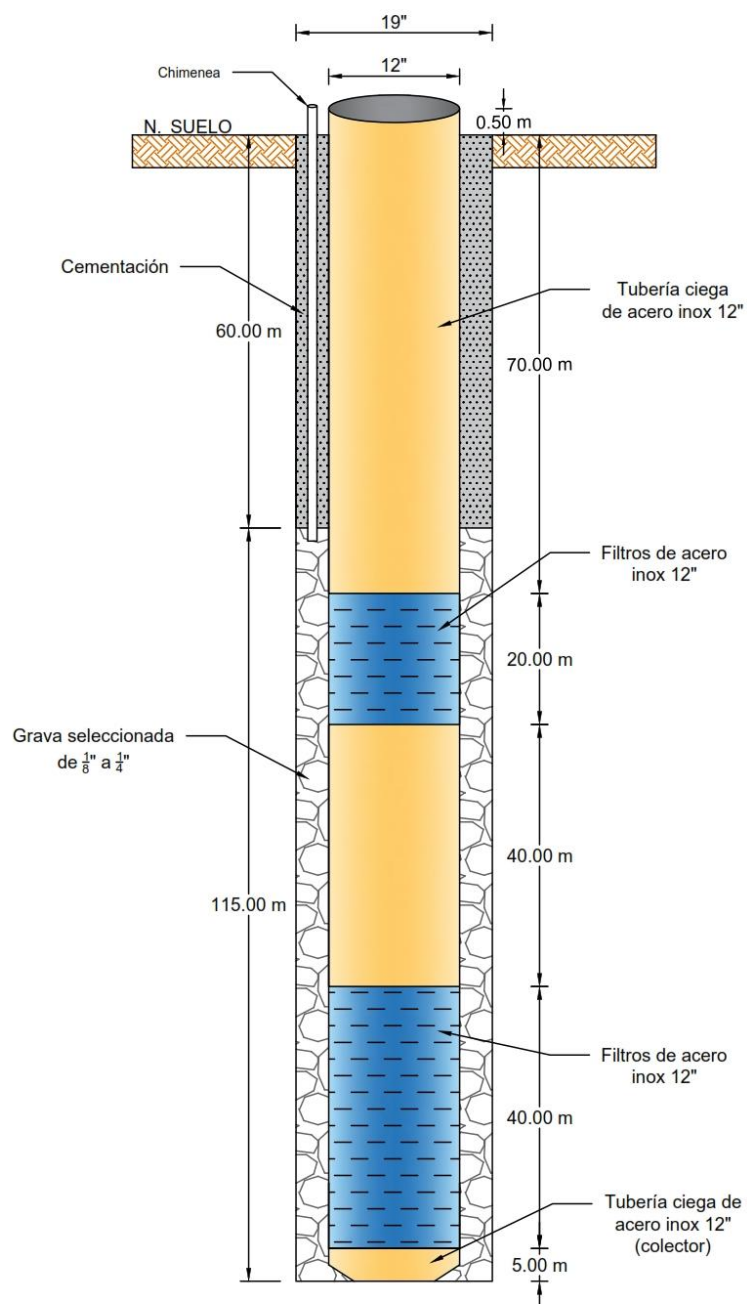


■ POZO N° 02 - RAPEL

◆ POZO P-12 - EL PEDREGAL.

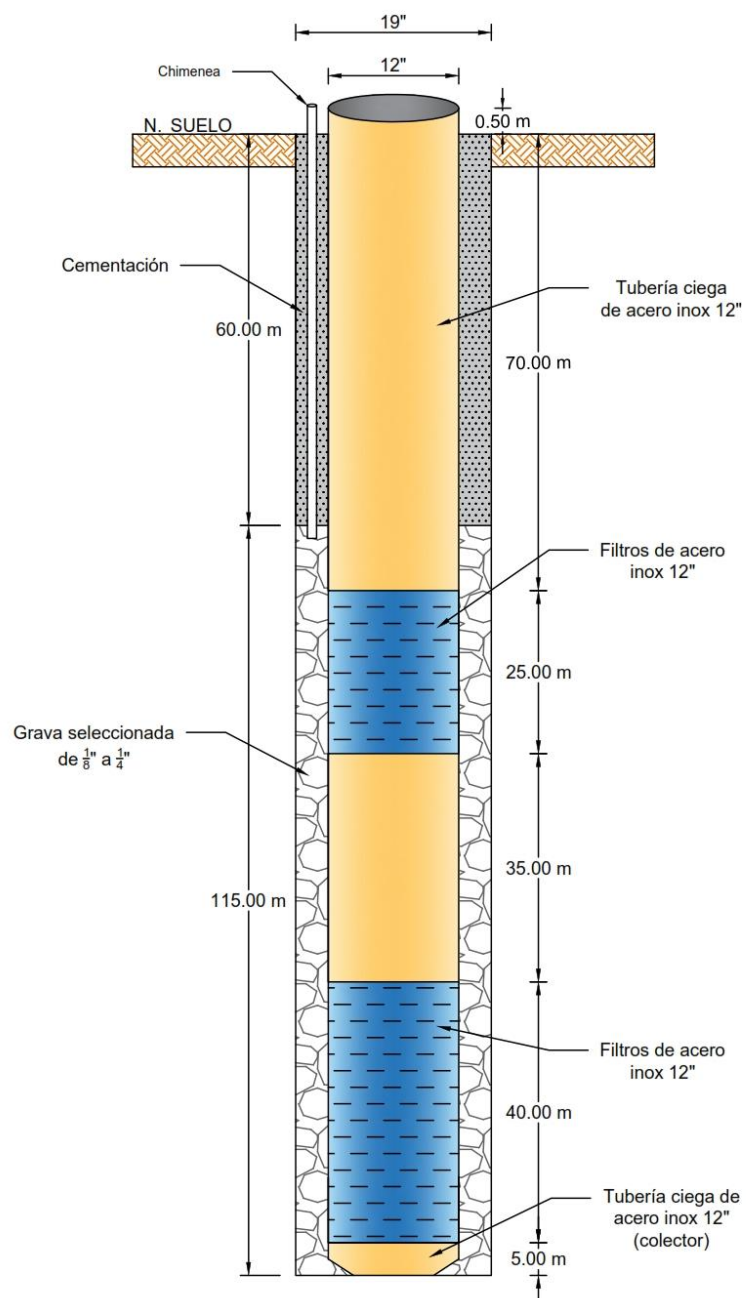
ANEXO N° 4: Diseño Preliminar de los Pozos.

DISEÑO PRELIMINAR POZO N° 01 - PUNTA ARENA



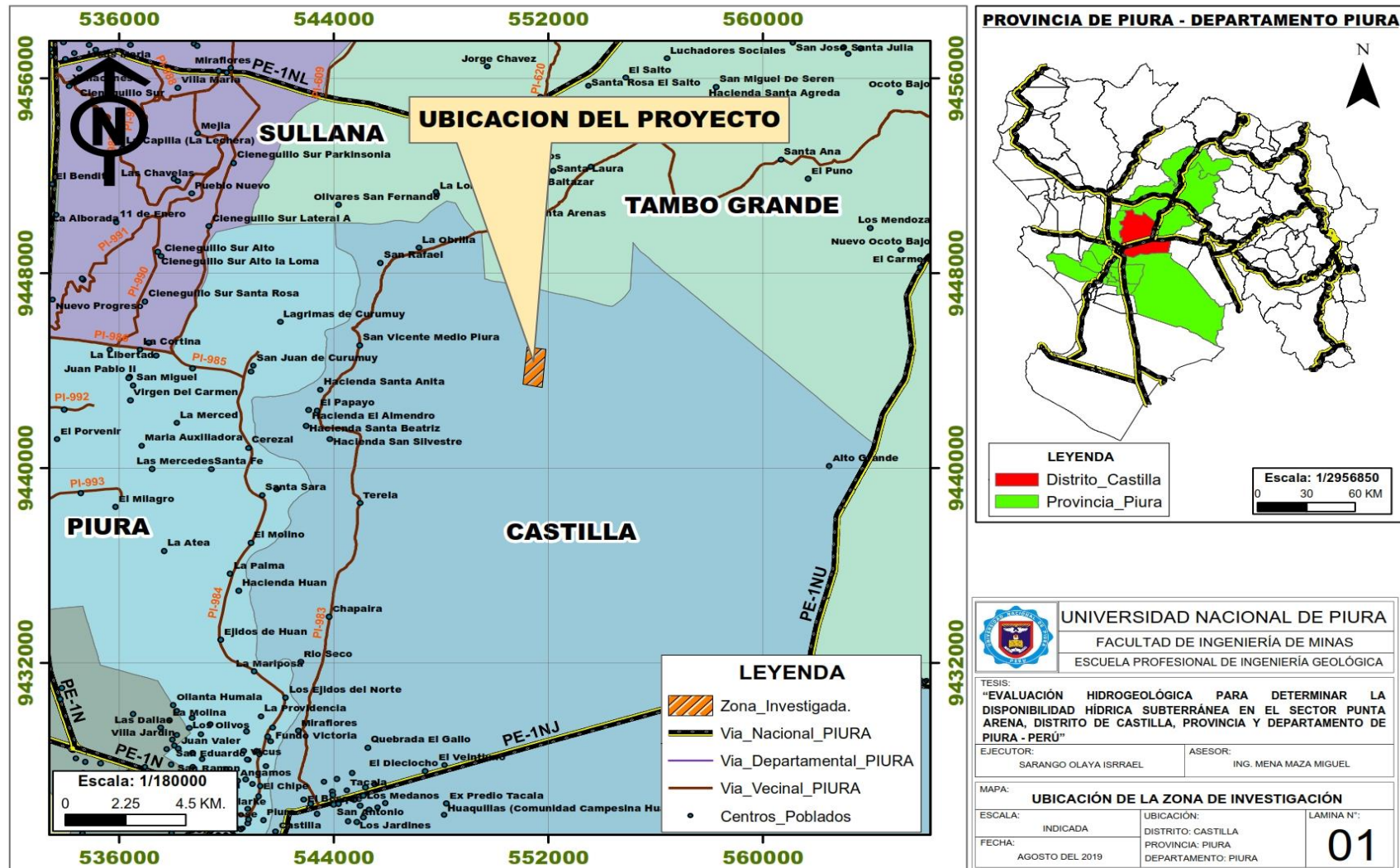
Nombre del pozo proyectado	SEV	Coordenadas UTM WGS84		
		Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)
N° 01	05	551252	9444799	121.00

DISEÑO PRELIMINAR **POZO N° 02 - PUNTA ARENA**

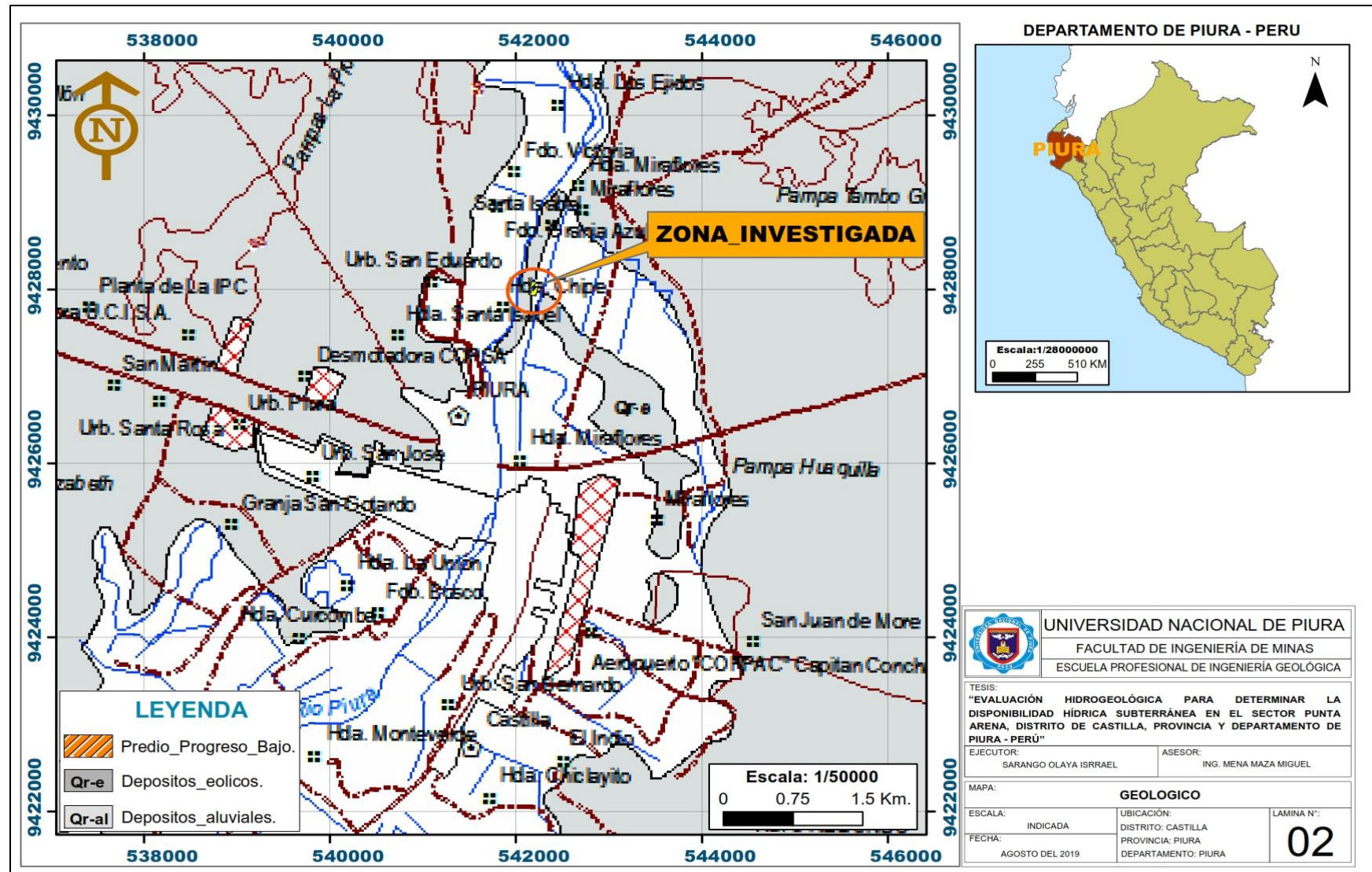


Nombre del pozo proyectado	SEV	Coordenadas UTM WGS84		
		Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)
N° 02	07	551759	9444450	124.00

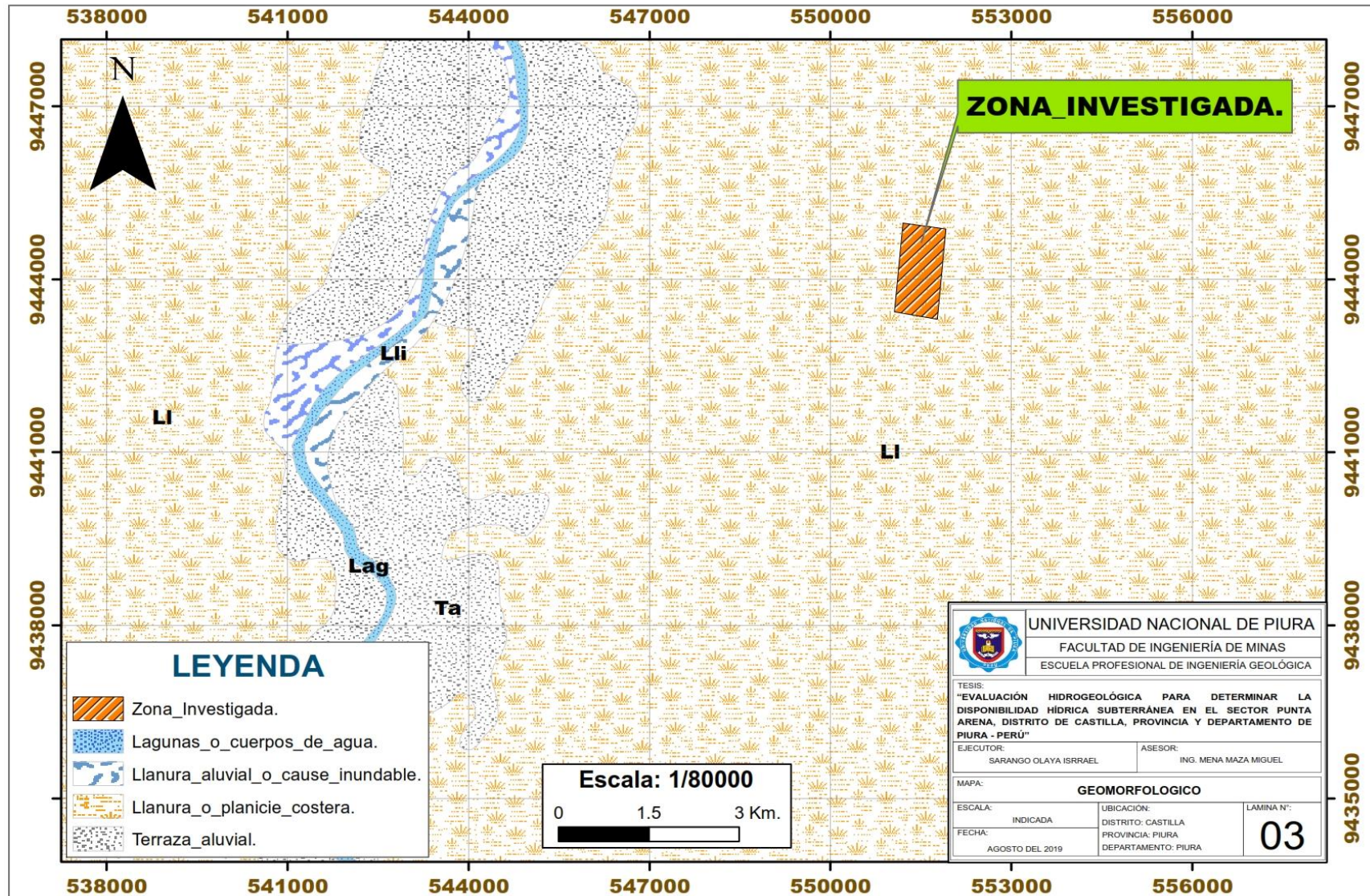
ANEXO N° 5: Mapa de Ubicación del Proyecto.



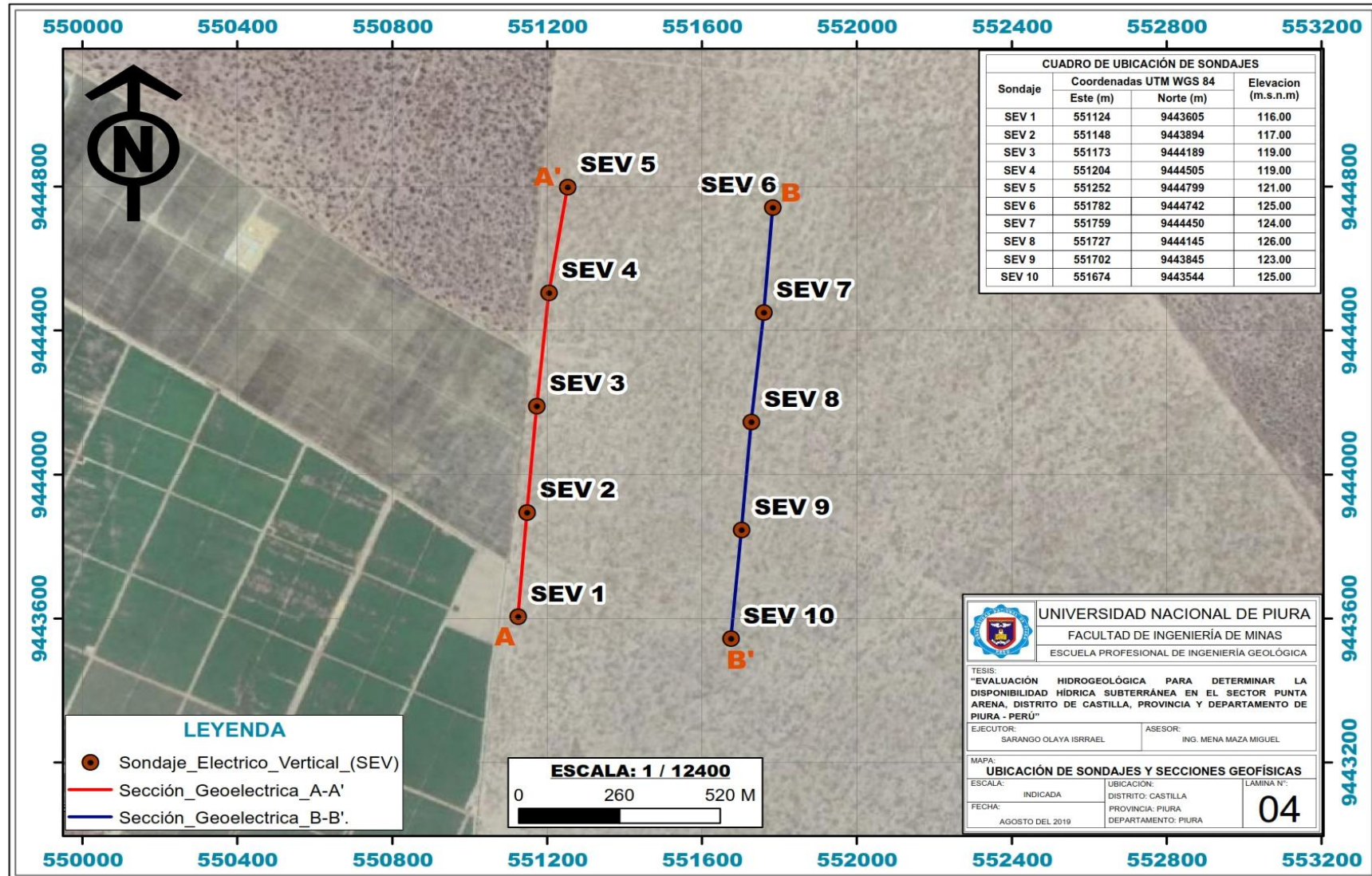
ANEXO N° 6: Mapa de Geológico.



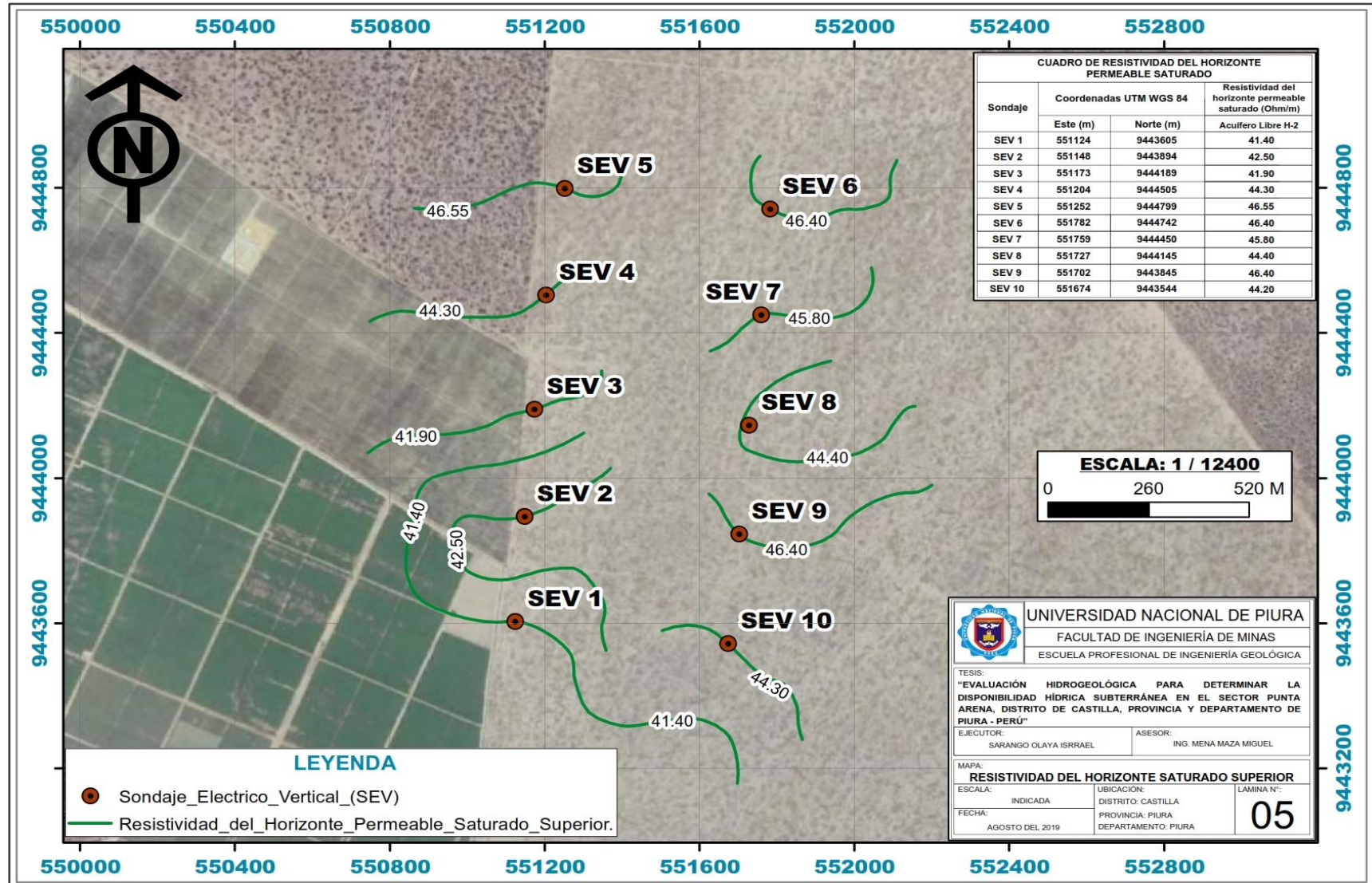
ANEXO N° 7: Mapa de Geomorfológico.



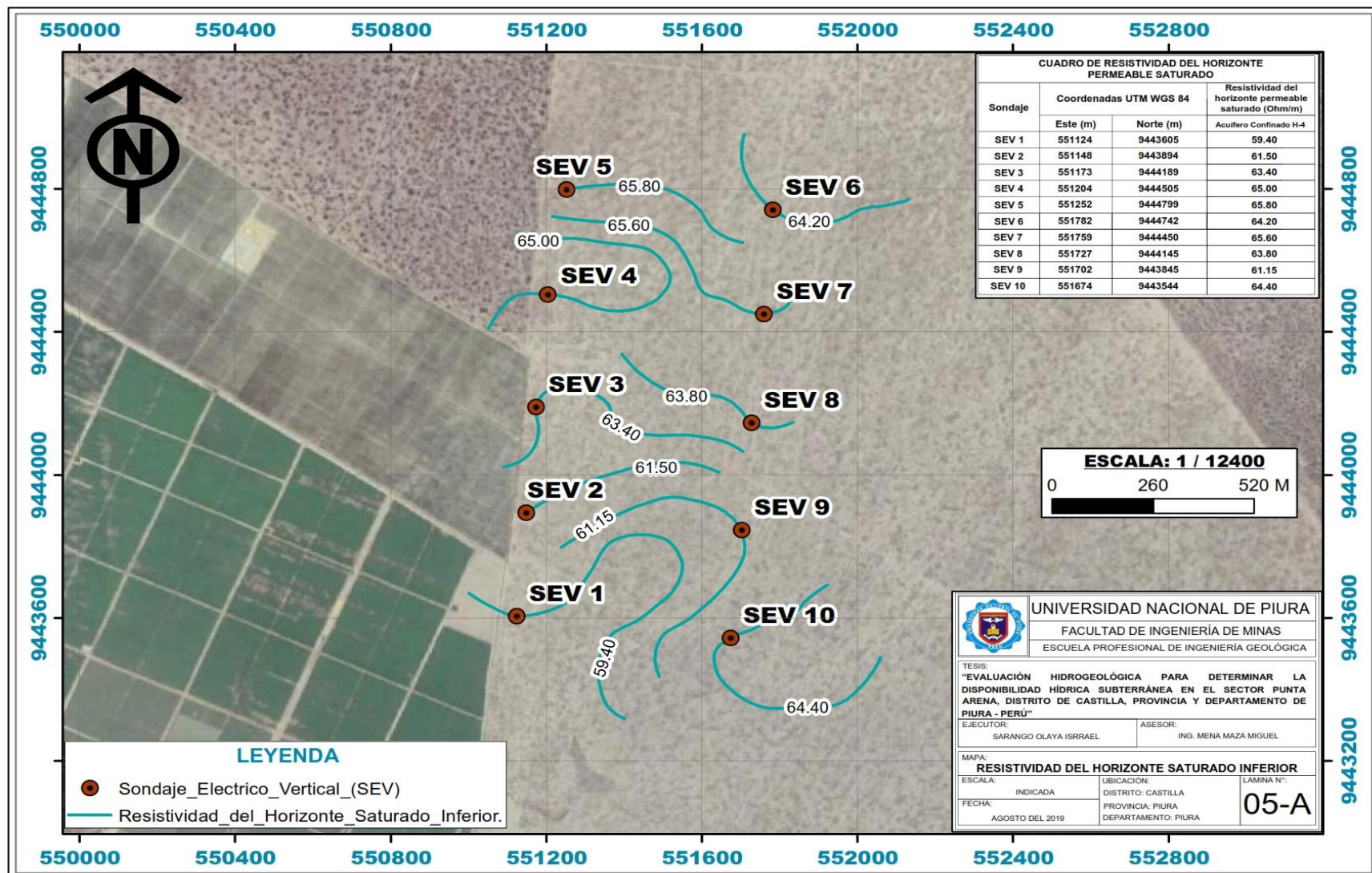
ANEXO N° 8: Mapa de Ubicación de Sondajes y Secciones Geofísicas.



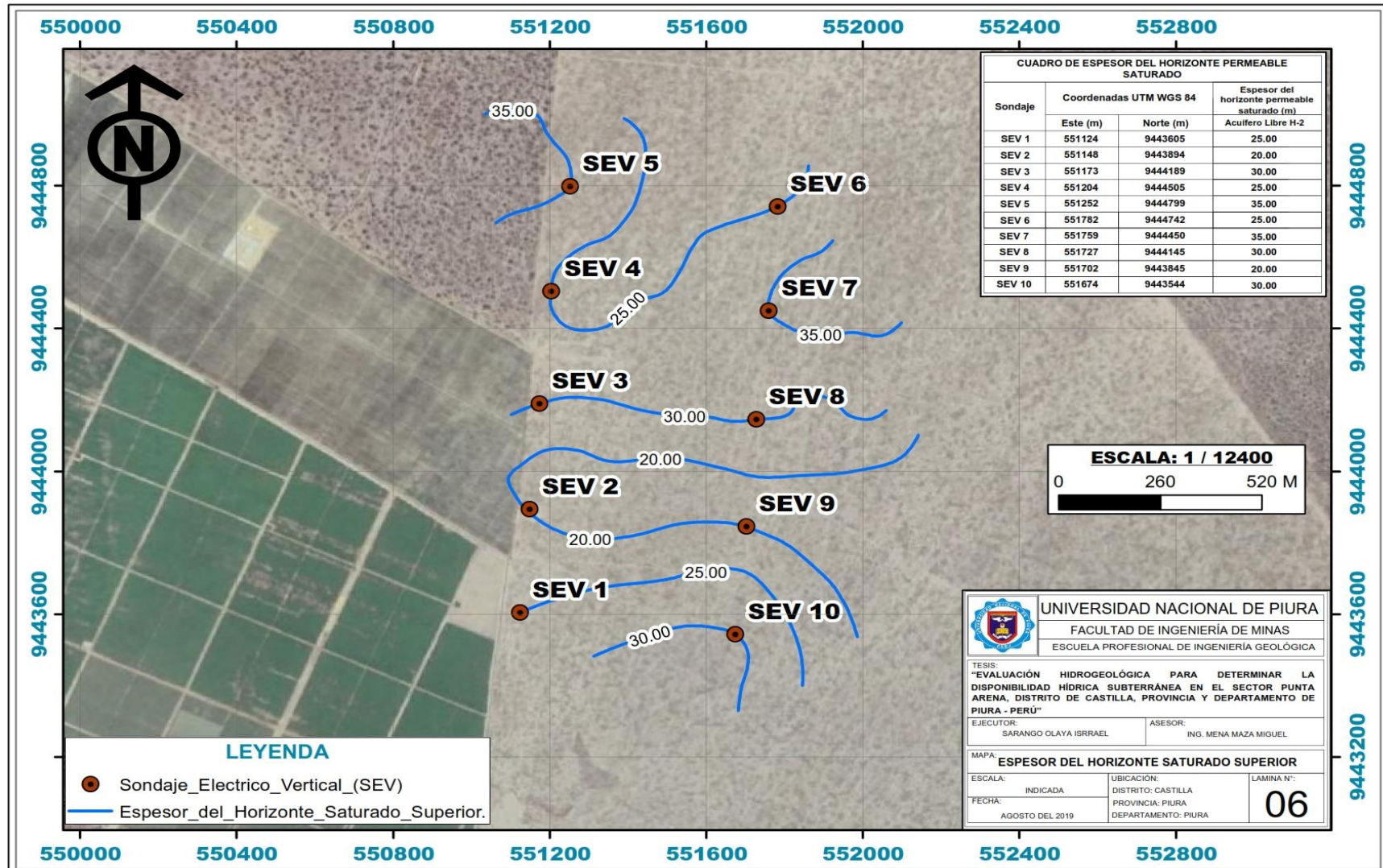
ANEXO N° 9: Mapa de Resistividad del Horizonte Saturado Superior (Acuífero Libre).



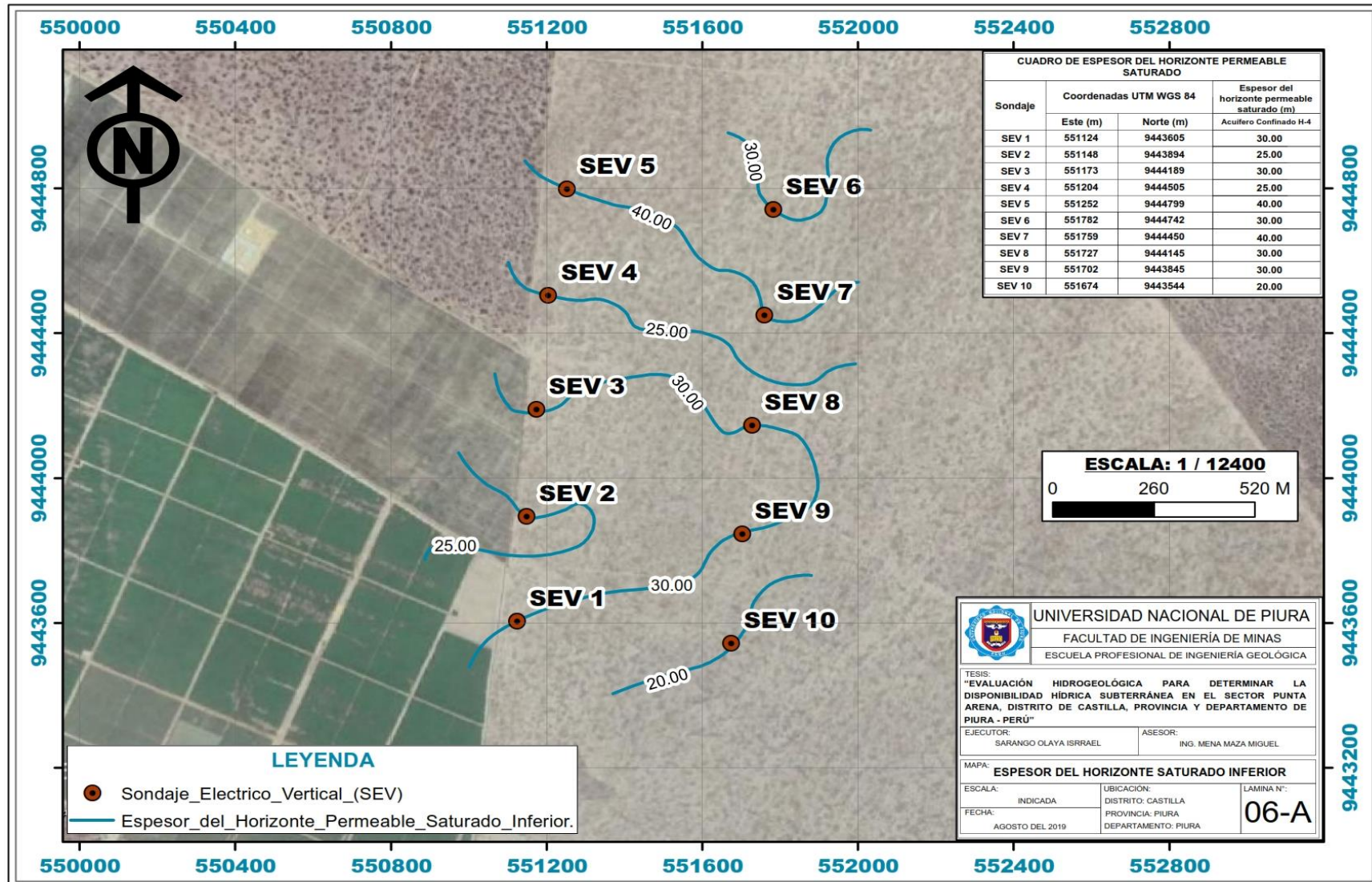
ANEXO N° 10: Mapa de Resistividad del Horizonte Saturado Inferior (Acuífero Confinado).



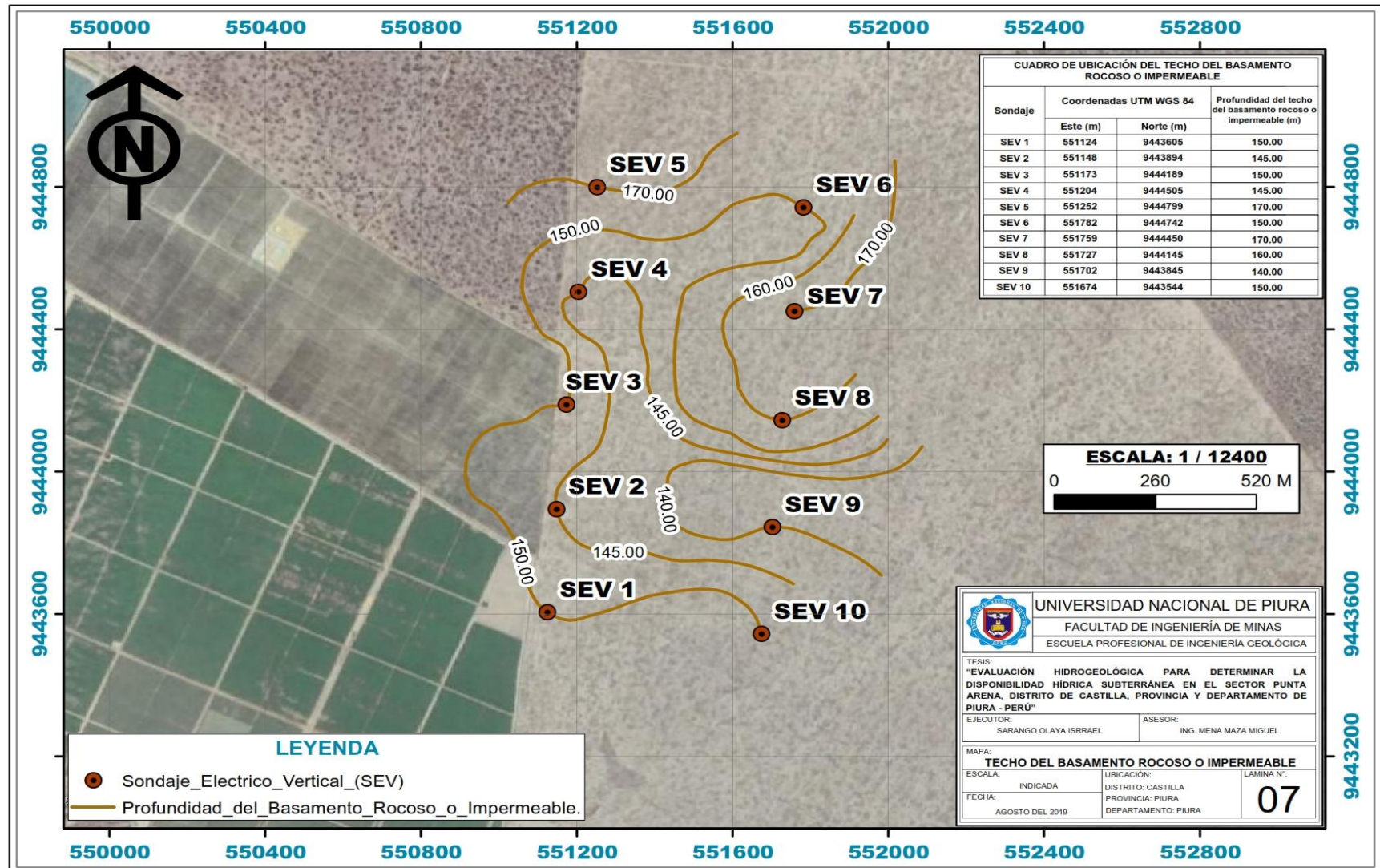
ANEXO N° 11: Mapa de Espesor del Horizonte Saturado Superior (Acuífero Libre).



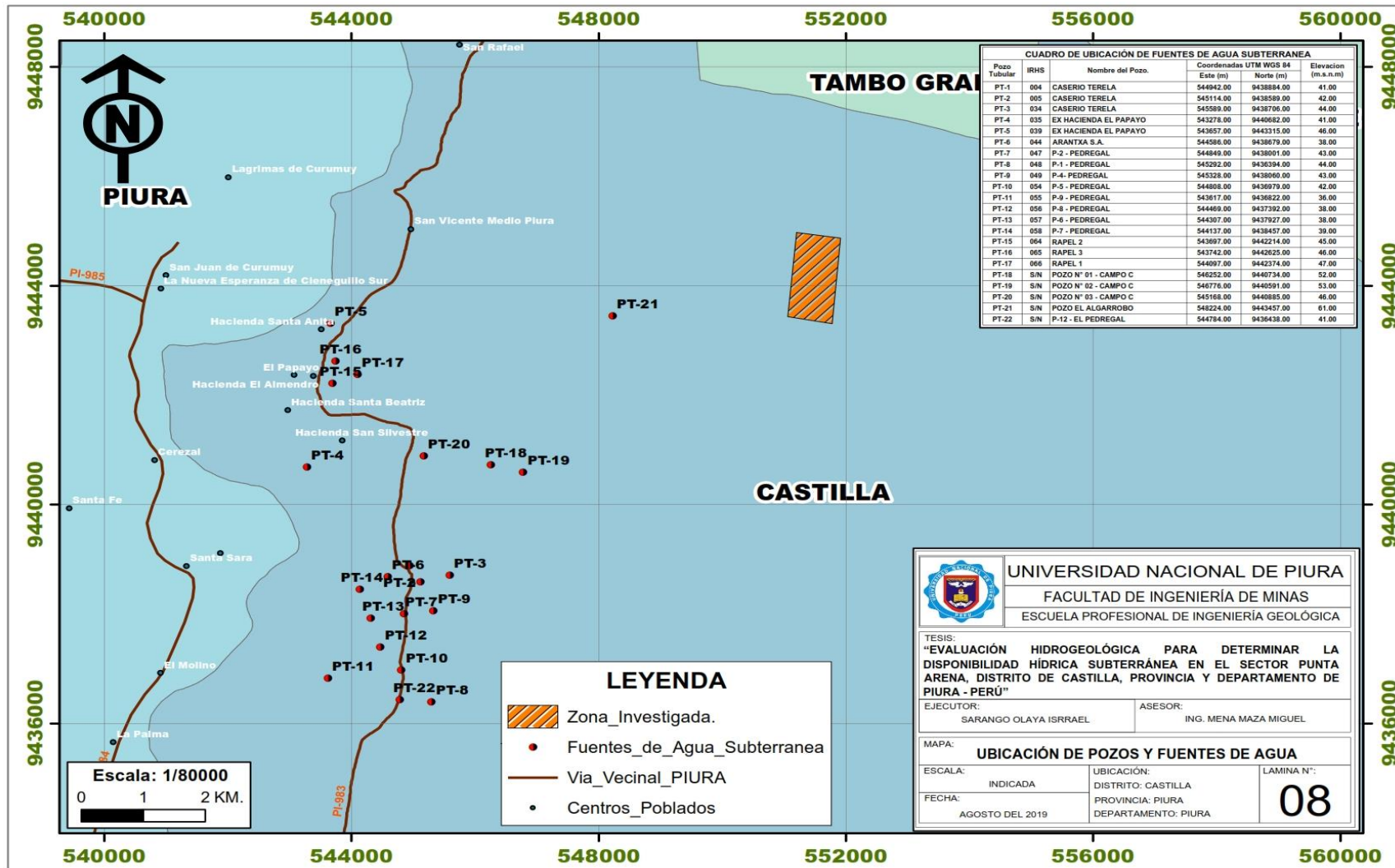
ANEXO N° 12: Mapa de Espesor del Horizonte Saturado Inferior (Acuífero Confinado).



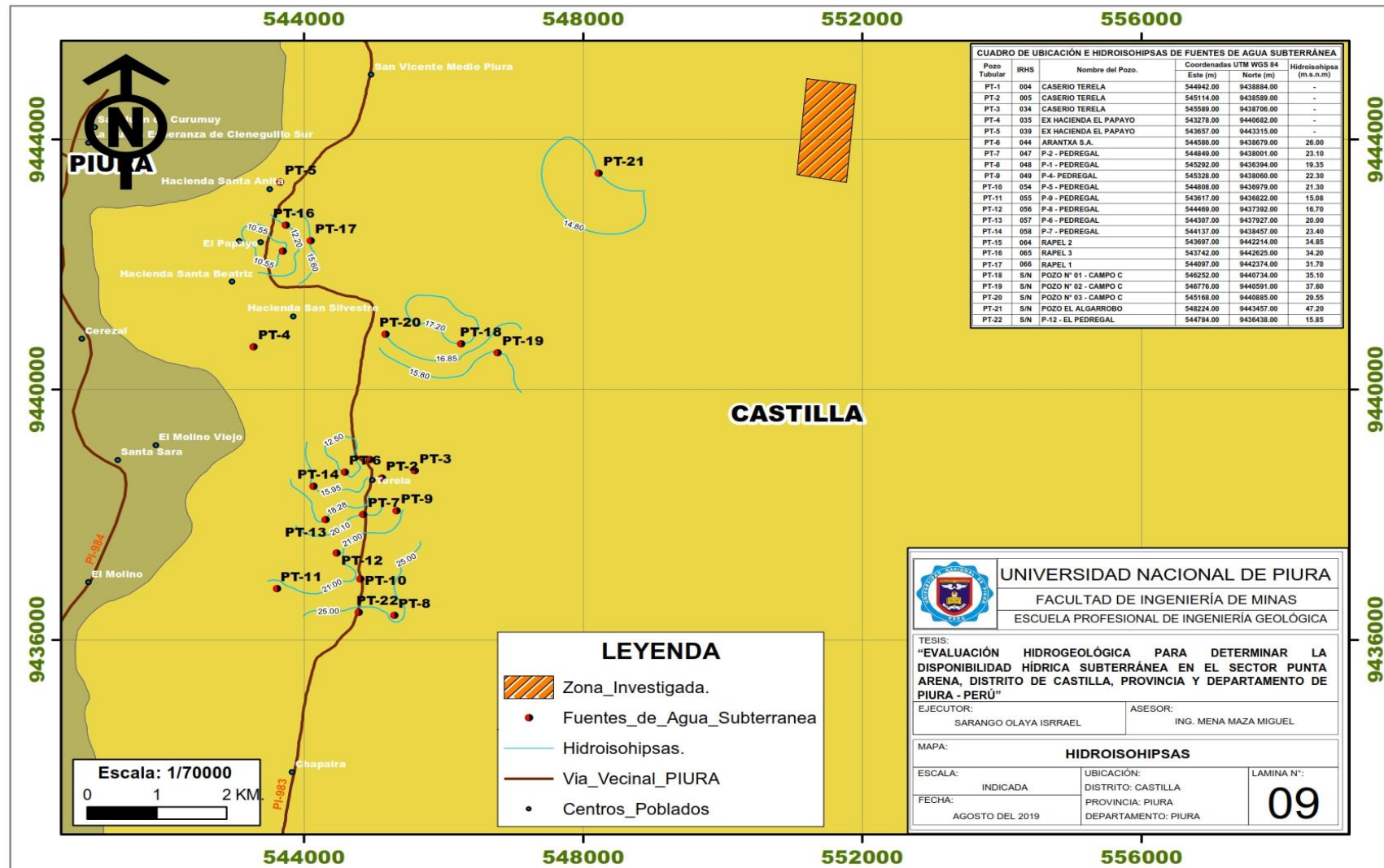
ANEXO N° 13: Mapa de Ubicación del Techo del Basamento Rocoso o Impermeable.



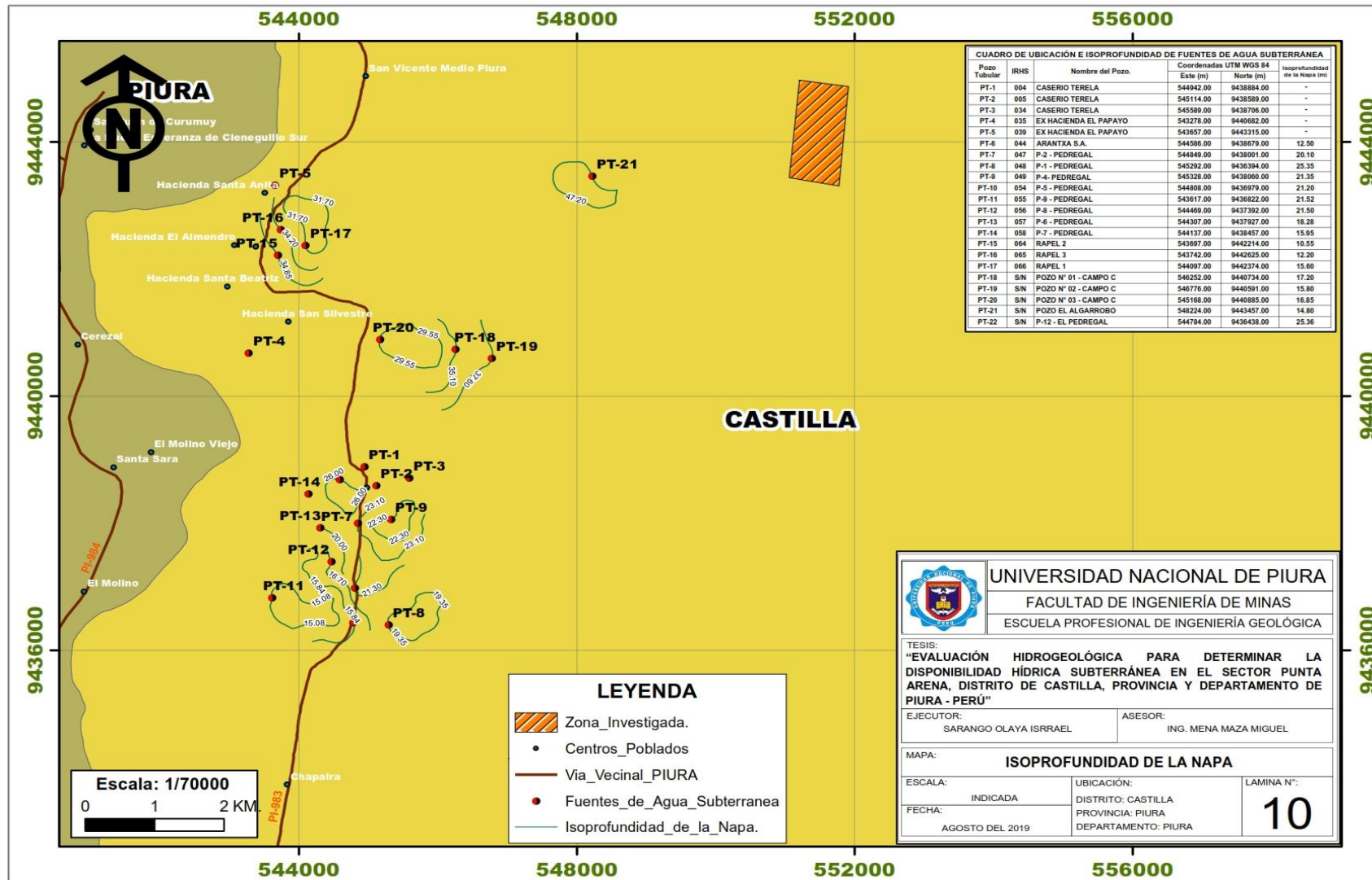
ANEXO N° 14: Mapa de Ubicación del Techo del Basamento Rocoso o Impermeable.



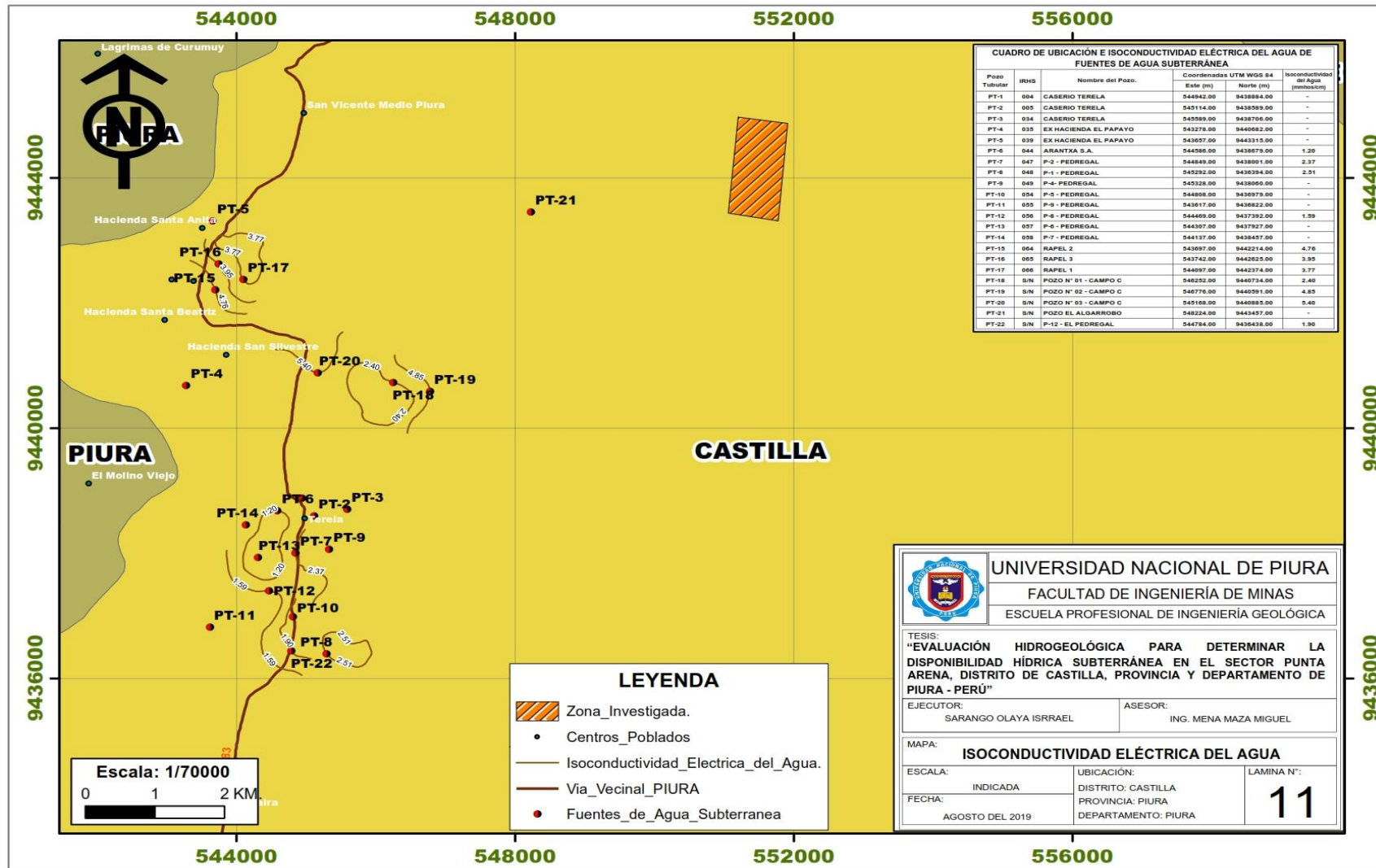
ANEXO N° 15: Mapa de Hidroisohipsas.



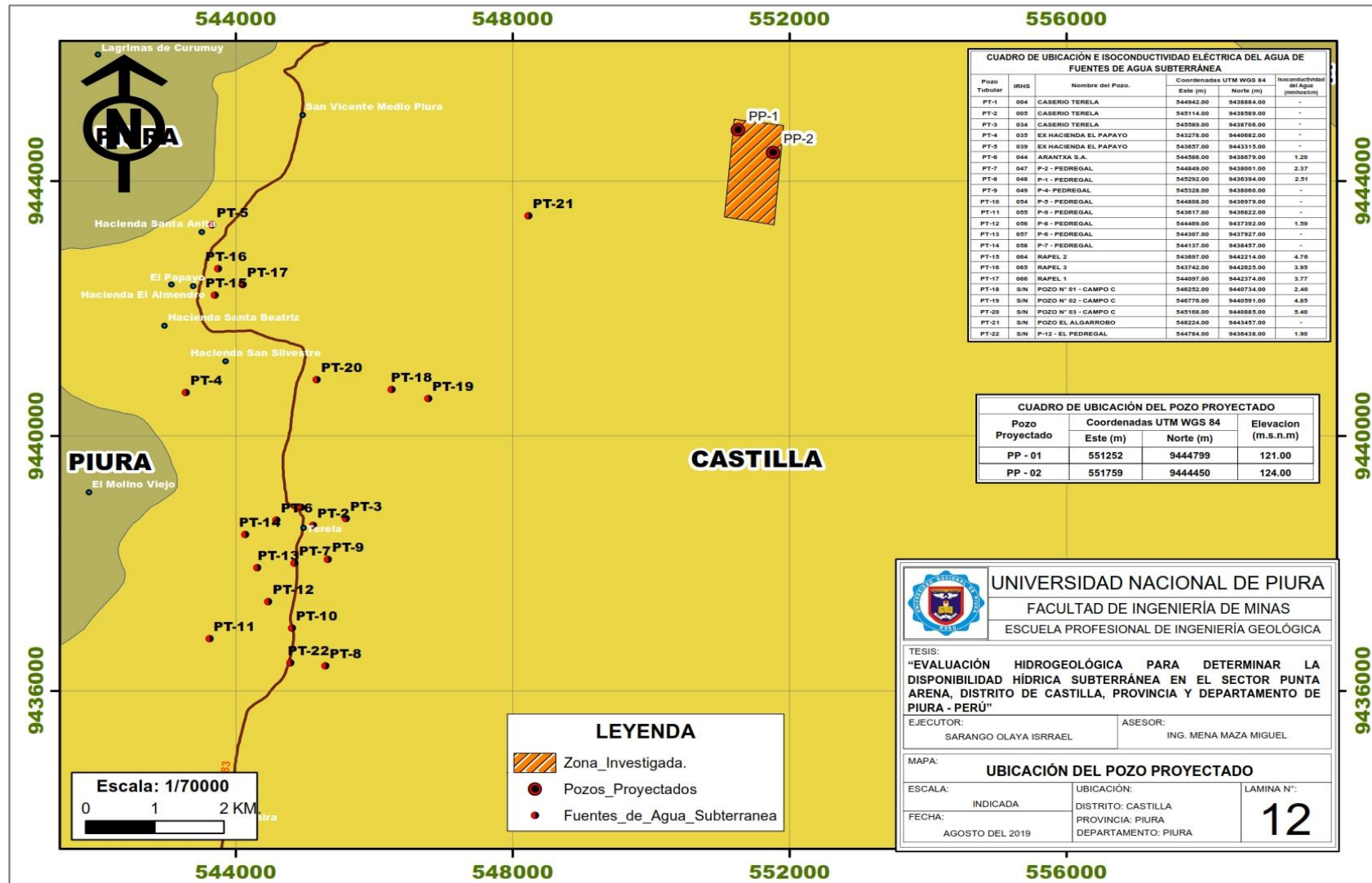
ANEXO N° 16: Mapa de Isoprofundidad de la Napa.



ANEXO N° 17: Mapa de Isoconductividad Eléctrica de Agua.



ANEXO N° 18: Mapa de Ubicación de Los Pozos Proyectados.



IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- ❖ TODD, D. K. 1959. Hidrogeología del agua subterránea. Editora Organismos La Habana, Cuba.
- ❖ JOHNSON, E. 1975. El agua subterránea y los pozos. Primera Edición, Saint Paul, Minnesota.
- ❖ TERZAGHI K. y PECK R.B., 1967. "Soil Mechanics in Engineering Practice". Massachusetts, United States of America.
- ❖ ASTIER, J. L. 1982. Geofísica Aplicada a la Hidrogeología. Madrid: Paraninfo.
- ❖ VILLANUEVA MARTINEZ, M., & IGLESIAS LOPEZ, A. 1984. Pozos y Acuíferos: Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo. Madrid: IBERGESA.
- ❖ CUSTODIO, E., & LLAMAS, M. R. 2001. Hidrología Subterránea. Barcelona: OMEGA.
- ❖ GASULLA FORNER, M. 1999. Obtención de Imágenes de la Distribución de Impedancia Eléctrica del Subsuelo. Aplicación a la Detección de Objetos Locales. Tesis Doctoral. Barcelona, España, Universitat Politècnica de Catalunya.
- ❖ PLATA TORRES, J. L. 2000. Técnicas convencionales de Geofísica de superficie aplicadas en Hidrogeología.
- ❖ OLÍAS, M., CERÓN, J. C., & FERNÁNDEZ, I. 2005. Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). GEOGACETA 37, 111-114.
- ❖ AACHCHP. 2005. Plan de Gestión de la Cuenca del Río Piura (Herramienta que orienta el uso racional de nuestros recursos naturales). Piura.
- ❖ GONZALES DE VALLEJO, L. 2003. "Ingeniería Geológica". Pearson Educación, Madrid, España.
- ❖ BRAJA M. Das., 2006. "Principios de ingeniería de cimentaciones". California State University, Sacramento. 5ta edición.
- ❖ AACHCHP-IRAGER-PDRS/GTZ. 2006. Sistema de Gestión de la Cuenca del Río Piura: Diagnostico Participativo de la Cuenca del Río Piura con Enfoque de Gestión del Riesgo. Documento Final (pdf, 138 pp.).
- ❖ AUGE, M. 2008. Métodos geoelectricos para la prospección del agua subterránea. Buenos Aires, Argentina.
- ❖ GARCÍA RODRÍGUEZ, M., & FERNÁNDEZ ESCALANTE, Á. E. (2009). Hidrogeología Básica. Las aguas subterráneas y su flujo. Ediciones FIEC.